مجلة العلوم
الترجمة العربية لمجلة ساينتفك أمريكان
تصدر شهريا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

المجلد 27 ـ العددان 8/7
يوليو/أغسطس 2011

SCIENTIFIC AMERICAN
July / August 2011



سبعة حلول جذرية للطاقة

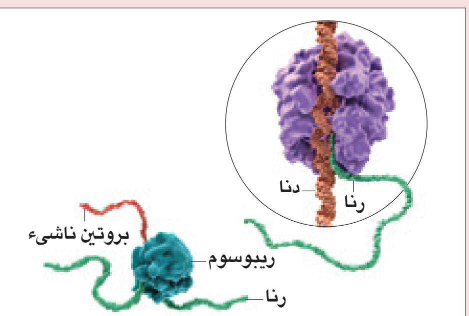
العددان 279/ 280 ـ السعر: 1.500 دينار كويتي



مقاومة المضادات الحيوية: عدُوٌّ بداخلنا



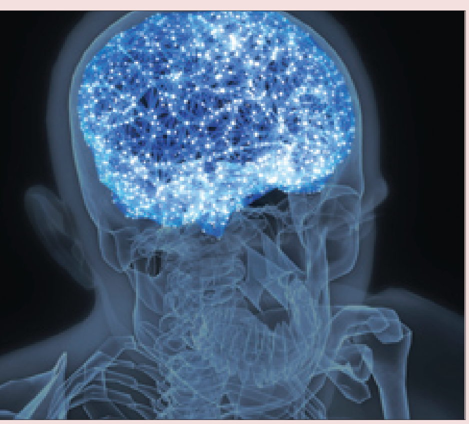
الميثان: خطر ينبعث



الفوضى المُنَظَّمة للبروتينات



ثورة الغذاء الأزرق... مزارع سمك في عمق البحر



في الدماغ، مئة تريليون وصلة

مجلة العلوم

الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهريا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

المجلد 27 ـ العددان 8/7 (2011)
280/279

مراسلات التحرير توجه إلى: **رئيس تحرير مجلة العلوم**

مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

شارع أحمد الجابر، الشرق – الكويت

ص.ب : 20856 الصفاة، الكويت 13069

عنوان البريد الإلكتروني: oloom@kfas.org.kw – موقع الوِب: www.oloommagazine.com

هاتف: 22428186(965+) – فاكس : 22403895(965+)

سعر العدد

الأردن	1.800	دينار	السودان	*	جنيه	الكويت	1.500	دينار	Britain	£	4
الإمارات	20	درهم	سوريا	100	ليرة	لبنان	*	ليرة	Cyprus	CI	2.5
البحرين	1.800	دينار	الصومال	*	شلن	ليبيا	*	دينار	France	€	6
تونس	2.5	دينار	العراق	–	–	مصر	7	جنيه	Greece	€	6
الجزائر	*	دينار	عُمان	2	ريال	المغرب	30	درهم	Italy	€	6
جيبوتي	*	فرنك	فلسطين	1.25	$	موريتانيا	*	أوقية	U.S.A.	$	6
السعودية	20	ريال	قطر	20	ريال	اليمن	250	ريال	Germany	€	6

[* ما يعادل بالعملة المحلية دولارا أمريكيا ونصف الدولار (USA $ 1.5)]

■ **مراكز توزيع العلوم في الأقطار العربية** (*انظر الصفحة 94*).

الاشتراكات

ترسل الطلبات إلى **قسم الاشتراكات** بالمجلة.

	بالدينار الكويتي	بالدولار الأمريكي
* للطلبة وللعاملين في سلك التدريس و/أو البحث العلمي	12	45
* للأفراد	16	56
* للمؤسسات	32	112

ملاحظة: تحول قيمة الاشتراك بشيك مسحوب على أحد البنوك في **دولة الكويت**.

بزيارة موقع المجلة **www.oloommagazine.com** يمكن الاطلاع على مقالات الإصدارات المختلفة اعتبارا من العدد 1995/1.
كما يمكن الاطلاع على قاموس مصطلحات العلوم باتباع التعليمات الواردة على الصفحة الرئيسية للموقع.

يمكن تزويد المشتركين في **العلوم** بنسخة مجانية من **قرص CD** يتضمن خلاصات مقالات هذه المجلة منذ نشأتها عام **1986** والكلمات الدالة عليها. ولتشغيل هذا القرص في جهاز **مُدعم بالعربية**، يرجى اتباع الخطوات التالية:

1- اختر Settings من start ثم اختر Control Panel

2- اختر Regional and Language Options

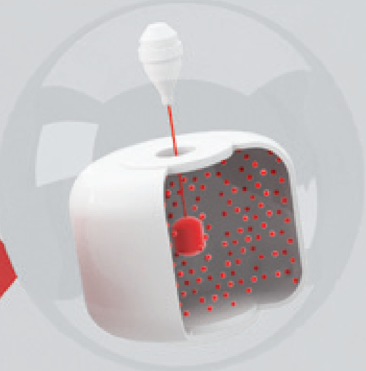
3- اختر Arabic من قائمة Standards and Formats ثم اضغط OK

شارك في هذا العدد

علي الأمير
فهد باشا
يوسف بركات
أحمد بشارة
إبراهيم بلال
محمد حسن حتاحت
ابتسام حمد
عدنان الحموي
سعدالدين خرفان
لينة دعبول
نزار الريس
قاسم السارة
صلاح سليمان
نمر عرب
فوزي عوض
ياسر العيتي
سحر الفاهوم
عزت قرني
أحمد الكفراوي

المقالات

ترجمة أو مراجعة





سبعة حلول جذرية للطاقة(*)

قد يكون معدل فشل هذه الحلول المثيرة 90 في المئة، ولكن إذا نجح أي منها فسيكون بمقدوره تحسين كفاءة الطاقة وأمانها بشكل كبير.

يسعى كثيرٌ من الناس إلى تسخير مصادر الطاقة المتجددة بفعالية أعلى، وكذلك إلى تحسين كفاءتها، وعلى العموم هذا مسعى حميد. ولربما أفضت معظم الجهود في هذا الشأن إلى تحسينات هي موضع ترحيب وإن كانت صغيرة، إلا أن الحاجة تدعو إلى ابتكارات جذريّة لإحداث تغيير كبير في قواعد لعبة الطاقة.



فعلى مدى سنوات، قام علماء ومهندسون، بالترويج لبعض المشاريع المثيرة التي اشتملت على: أقمار صنعية توجّه الطاقة الشمسيّة إلى لاقطات (مستقبلات) على الأرض، وآلات رياح تحوم في الغلاف الجوي وتقوم بتوليد الكهرباء. إلا أنه على أرض الواقع تلقى الباحثون مؤخرا دعما حكوميّا كبيرا أو تمويلا خاصّا لدراسة مجموعة متميِّزة من تقانات معروفة منذ أمد طويل في بضعة مجالات أساسية. ونستعرض فيما يلي مشاريع تقدم أمثلة ريادية ذات مردود محتمل وقابلة للتحقيق، فيما لو تمكن المخترعون من تخطي العوائق الهائلة، وإبداع تقنيّات عمليّة قابلة للإنتاج الكمّيّ وسهلة التمويل.

محررو ساينتفيك أمريكان

هل هنالك احتمال للنجاح؟
يتناول محررونا ومستشارونا في الصفحات التالية هذه التقانات عبر منهجين:

أرجحية
نجاحها تجاريا

تاثيرها المحتمل
في توفير الطاقة أو استخدامها

الأدنى: 5/1 ● ○ ○ ○ ○
الأعلى: 5/5 ● ● ● ● ●

(*) 7 RADICAL ENERGY SOLUTIONS



باختصار

يحاول العلماء والمهندسون تطوير تقانات معروفة منذ أمد بعيد يمكن لها أن تغير لعبة الطاقة بشكل جذري.

فمن الممكن إيجاد مصادر جديدة للطاقة من خلال توفير الطاقة للمفاعلات الانشطارية التي تستخدم الوقود الذري المنضّب الذي هو نفاية خطرة، وثمة آلات أخرى يمكنها تحويل ضوء الشمس وثاني أكسيد الكربون إلى وقود يحل محل البنزين.

إن إحداث زيادة كبيرة في كفاءة الطاقة قد يتحقق بفعل مغنطيسات تحدث ثورة في المكيفات، ومن خلال سبائك تستذكر الشكل وقادرة على تحسين استخدام الوقود في السيارات.

محطات توليد الطاقة

انشطار نووي مثار بالاندماج(*)

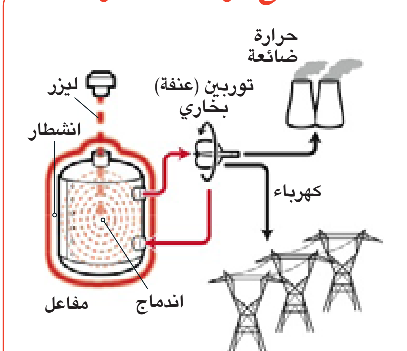
ليزر يولد الكهرباء من الوقود النووي المنضب.

أرجحية 5/2

التأثير المحتمل 5/4

لقد كدح الفيزيائيون والمهندسون عقودا من الزمن لتسخير الاندماج النووي، الذي يماثل العملية التي تتوقد في القنبلة الهدروجينية وكذلك في الشمس. فيستطيع الباحثون أن ينتجوا تفاعلات الاندماج بسهولة من خلال قذف نوى الهدروجين بعضها ببعض بعنف يكفي لاندماجها وانطلاق نيوترونات وطاقة. إن الجزء الصعب هو عمل ذلك بكفاءة بحيث تُحرِّر التفاعلات طاقة أكبر مما تم استخدامها لبدء تلك التفاعلات، وهذه الحالة تسمى الاشْتِعَال إذ تؤدي في نهاية المطاف إلى توليد الكهرباء.

لقد توصل العلماء في وحدة الاشْتِعَال الوطنية في ليڤرمور بكاليفورنيا إلى وسيلة جديدة هي استخدام الاندماج لتحفيز الانشطار، وهو الانقسام الذري الذي يشغّل المفاعلات النووية التقليديّة. ويزعم المدير <E. موزز> أنّ هذه العملية يمكنها أن تُفضي إلى **النموذج الأوليّ** prototype لمحطات الطاقة في السنوات العشرين القادمة.



تنتج نبضات الليزر - في محطة ليڤرمور - انفجارات الاندماج في مركز حجرة المفاعل، مصدرة بذلك نيوترونات تقوم بشطر الذرات في طبقة اليورانيوم السميكة أو في أي وقود آخر يبطن جدران الحجرة. ويمكن للطاقة المتأتّية من هذه الذرات المنشطرة أن تضاعف ناتج طاقة الحجرة إلى أربعة أمثاله أو أكثر. ويعود مبدأ الاندماج المحفّز للانشطار للأغراض السلميّة إلى «أبي» القنبلة الهدروجينيّة السوڤيتية <A. زاخاروڤ> الذي أطلق هذه الفكرة في خمسينات القرن الماضي.

إن كانت معظم الطاقة تأتي من الانشطار النووي، فلمَ لا نستمر مع مفاعلات الطاقة النوويّة التقليديّة ونتجنب مشقة تطوير مقداح الاندماج؟ يعتمد مفاعل الانشطار على التفاعل المتسلسل الذي تقوم فيه نيوترونات متأتّية من الذرات المنشطرة بتحفيز ذرات أكثر كي تنشطر، ويتطلب استمرار التفاعل المتسلسل وقودا من البلوتونيوم أو اليورانيوم المخصّب، وكلاهما يمكن استخدامه كذلك في الأسلحة النووية.

في محطة الاندماج - الانشطار المهجنة تتولى النيترونات الناتجة من انفجارات الاندماج تحفيز عملية الانشطار فتنتفي بذلك الحاجة إلى استمرار التفاعل المتسلسل. وهذا الإجراء يوسّع قائمة الوقود المحتمل، لتضمّ اليورانيوم غير المخصّب، واليورانيوم المنضَّب (الناتج من نفايات وفيرة متأتّية من تخصيب اليورانيوم)، أو حتى الوقود المستنزف الناتج من مفاعلات نووية أخرى، وهي نفايات ينبغي - بدلا من ذلك - أن تُخزّن لمئات الآلاف من السنين، أو يتعيَّن إخضاعُها لإعادة معالجة معقّدة وخطيرة لاستخدامها مرة أخرى في محطة الانشطار.

ثمّة فائدةٌ أخرى هي كميّة احتراق الوقود. فالمفاعل التقليدي يَشطر نسبة ضئيلة فقط من ذرّات وقوده القابلة للانشطار قبل وجوب تغيير الوقود. ويقول <موزز> إن محطات الاندماج - الانشطار يمكنها أن تصل إلى حرق ما نسبته 90%، ولعلها لهذا السبب لا تحتاج إلا إلى جزء واحد من الوقود من أصل 20 جزءا يحتاج إليها مفاعل الانشطار التقليدي. لذا فإنّ طور «الحرق» - خلال العقد الأخير من عمر المفاعل البالغ 50 سنة تقريبا - سيخفّض مقدارَ النفايات المديدة العمر من 2500 كيلوغرام إلى 100 كيلوغرام تقريبا، وذلك على الرغم من تراجع مقدار توليد الطاقة خلال هذه السنوات.

كذلك فإن الباحثين يعكفون على دراسة مقترحات الاندماج - الانشطار القائمة على الاندماج المغنطيسي، وهو المنافس للاندماج الليزري، الذي يَحْصر تفاعل الاندماج ضمن حقول مغنطيسية قوية. في عام 2009 اقترح علماء في جامعة تكساس بمدينة أوستن مفاعلا هجينا مع مقداح اندماج مغنطيسي. ويقوم باحثون من الصين بتقييم تصاميم معدّة لتحسين إنتاج الطاقة ولتهجين وقود المفاعل التقليديّ ولحرق النفايات النوويّة.

إن طاقة الاندماج على مختلف أنواعها هي مقترح جذري. وهناك عقبات تقنية رئيسة قبل أن تصبح محطّة الطاقة واقعا ملموسا، حتى ولو قدّم مختبر <موزز> مشعِّلا هذا العام. فيتعين إنتاج



(*) Fusion Triggered Fission



متقن لكميات كبيرة (وبسعر رخيص) من دريئات الاندماج البالغة الصغر والمصمّمة بإتقان. وينبغي تكرار حدوث الاشتعال 10 مرات في الثانية، وهذا يتطلب مَنْظُومَة من تقانة غير مُثبَتة (إذ إن مختبر الاشْتِعَال الوطني تمكن في أحسن الأحوال من الوصول إلى بضع طلقات فقط على الدريئة في اليوم).

إن التصدي لإنتاج الهجين يتطلب أيضا تقانات لا يحتاج إليها الاندماج الخالص - وخصوصا طبقة الانشطار، بما في ذلك وقود الانشطار الذي يمكنه تحمّل وابل من الحرارة والنيوترونات أكبر بكثير من ذاك المعهود في المفاعل التقليديّ. وتتراوح المقترحات من كريَات صلبة متعددة الطبقات إلى سوائل مكوّنة من يورانيوم أو ثوريوم أو بلوتونيوم مُذابة في أملاح مُسَيَّلة.

إن التحديّات هائلة، فقد وضع <موزز> خطة أولية طموحة لتجاوزها، إلا أنه لابد في المقام الأول أن يبرهن المختبر على قدرة الاندماج الليزري على تحقيق الاشتعال على أرض الواقع.

<G.P. كولينز>

أرجحية 5/3

التأثير المحتمل 5/4

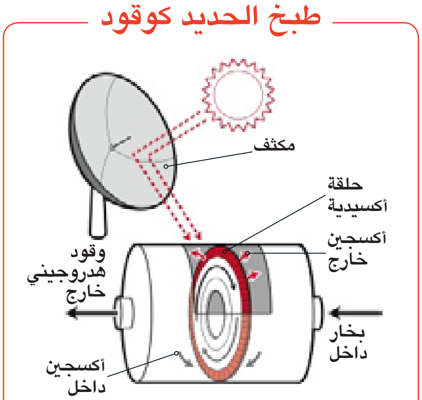
وقود سائل

بنزين شمسي(*)

أشعة الشمس المركزة وثاني أكسيد الكربون يسيران الآليات.

تغمر الشمسُ الأرضَ - خلال ساعة واحدة - بطاقة أكبر مما تستخدمه الحضارة البشرية خلال سنة كاملة. فإذا استطاع العلماء تحويل - ولو جزء من هذا الفائض - إلى وقود سائل لأمكن أن ينتهي إدماننا على الوقود الأحفوري لأغراض النقل، وقد ينتهي ما تخلقه من مشكلات. وقد صرّح <N. لويس> [مدير المركز المشترك للبناء الضوئي الصناعي

طبخ الحديد كوقود



في معهد كاليفورنيا للتقانة] بأنّ «الوقود الكيميائي سيكون الأمر الذي سيغيّر قواعد اللعبة إن استطعنا أن نصنّعه مباشرة من أشعة الشمس بكفاءة وبشكل رخيص».

وفي محاولة مثيرة للاهتمام في مختبرات ساندِيا الوطنيّة يُستخدَم طبقٌ من المرايا قطرُه ستة أمتار في صحراء نيومكسيكو، ويركز الطبق أشعّة الشمس على آلة أسطوانيّة طولُها نصف متر على شكل برميل بيرة مركّب أمامه. وتوجِّه المرايا أشعّة الشمس إلى بؤرة عبر نافذة في جدار الآلة على اثنتي عشرة حلقة متحدة المركز تدور مرّة واحدة في الدقيقة. وتحيط بالحلقات أسنانٌ من أكسيد الحديد (الصدأ) أو أكسيد السيريوم، وتدور عبر حزمة الأشعة فتسخن إلى 1500 درجة مئوية، فتنزع هذه الحرارة الأكسجين من الصدأ. وتقوم الأسنان - من خلال دورانها أثناء عودتها إلى المبرّد - وهو الجانب القاتم من المفاعل - بامتصاص الأكسجين واسترجاعه من البخار أو من ثاني أكسيد الكربون الذي أُدخِل سابقا إلى الحجرة، مخلّفة وراءها الهدروجين أو أول أكسيد الكربون الغنيين بالطاقة.

ومزيج الهدروجين وأول أكسيد الكربون الناتج يسمى **الغاز الصناعي** «syngas»[1]، وهو اللبنة الجزيئية الأساسية للوقود الأحفوري وللمواد الكيميائية وحتى البلاستيكية. ويمكن لهذه العملية أن تمتص أيضا ثاني أكسيد الكربون بقدر المنبعث عند حرق هذا الوقود. إن نظاما من الوقود الشمسي كهذا - كما يقول <A. ماجومدار> [مدير وكالة مشاريع البحث المتقدّم حول الطاقة] - «يشبه اصطياد أربعة طيور بحجر واحد»:

(*) Solar Gasoline

(1) synthesis gas

توفير وقـــود نظيف وتأمين كميات أكبر من الطاقة وانخفاض في ثاني أكســـيد الكربون وتغيّر مناخي أقل.

ويطـوّر الباحثون في أمكنة أخرى - تضـــم المعهد الاتحـــادي السويســـري للتقانة في زيوريخ وجامعة مينيســـوتا - آلة لإنتـــاج الغـــاز الصناعـــي. وبعض الشركات الناشئة تتبع مسارات أخرى. فشـــركة صن كاتاليتيكس في كامبردج بماساشوســـتس، تقوم مـــن خلال غمر مُحفز رخيص للتفاعـــل في الماء، بإنتاج الأكســـجين والهدروجـــين باســـتخدام الكهرباء المستمدة من الألواح الشمسية. أما شـــركة ليكويد لايت في نيوجيرسي فتضخ فقاعات من ثاني أكسيد الكربون في خلية كهركيميائية لتحوّله إلى ميثانول. كما أن <لويس> نفسه يبني أوراقا صنعية من أســـلاك نانويّة **شبه موصلة (ناقلة)** semiconducting تمتص أشـــعة الشمس فتشطر الماء إلى هدروجين وأكسجين.

وبالطبـــع فإنّ العائـــق الرئيس الذي ينبغي التغلب عليه هو تخطي المشـــكلات التطبيقيّة. ففي مختبرات سانديا مازالت أسنان أكســـيد الحديد تتكسّـــر فتعيق التفاعل، «فتدوير الأســـنان جيئة وذهابا بـــين 1500 و900 درجـــة مئويـــة يشـــكل عبئـــا كبيرا على المادة»، كما يشـــير إلى ذلك الكيميائي غير المشـــارك في العمل <G. ديركـــس> [مدير لايـــت ووركس في جامعة ولاية أريزونا]. إن الخطوة التالية هي جعل بنية الصـــدأ أكثر صلابة على مقياس نانـــويّ، أو حتـــى التوصل إلى مواد أفضل للأســـنان. كما ينبغي أيضا خفض التكلفـــة العالية للمرايا. إذ يقترح الباحثون في سانديا إمكانية إنتاج وقود بتكلفـــة 10 دولارات للگالون (2.65 دولار لـــكل لتر) بواســـطة آلتهم لإنتـــاج الغاز الصناعـــي، لكـــن المهنـــدس الكيميائي والمخترع المشـــارك <G .E. ميلّر>، يقول: «لم نبرهن لأنفسنا على عدم قدرتنا على القيام بذلك، ولكننا كذلك ما زلنا بعيدين أشواطا عن تحقيق ذلك».

<*D. بيلّو*>

كهرباء *فلطية ضوئية كمومية*(*)

إلكترونات ساخنة تضاعف كفاءة الخلايا الشمسية.

أرجحية 5/4

التأثير المحتمل 5/4.5

حاليـــا تُحـــوِّل الخلايا الشمســـية التجاريّـــة ما نســـبته 10 إلى 15% فقط مـــن الضوء الذي تســـتقبله إلـــى تيّار كهربائي، منتجة بذلـــك كهرباء مرتفعة الثمن. وأحد أســـباب ذلك هو أن طبقة واحدة من الســـيليكون الممتص للضوء كفاءتها النظرية محـــدودة تقارب 31% (تصل فـــي أفضل الخلايـــا المختبرية إلى 26%). ويمكن أن تحسّـــن الأبحاث الجديدة حول بلورات أشباه الموصلات (النواقـــل)، أو بقع الكمّ، الحد الأقصى النظري إلى نحو 60%، مفسحة الطريق أمـــام منتجات يمكنها توليـــد الكهرباء بأسعار تنافسية.

في الخلية التقليدية ترتطم الفوتونات المنبعثـــة بالإلكترونـــات فتحرّرهـــا مـــن الســـيليكون وتفسح لها المجال للانسياب بحريّة إلى الســـلك الموصل فتنتج تيارا. ولكن العديد من فوتونات الشـــمس ذات طاقة كبيرة جدا، وعندما تضرب السيليكون تحرر «إلكترونات ســـاخنة» ســـرعان ما تفقد طاقتها على شكل حرارة لتعود إلى حالتها الأولى قبل اصطيادها في السلك الموصل، إلا أن الكفاءة القصوى يمكن أن تتضاعـــف إن أمكن احتجاز الإلكترونات الساخنة قبل أن تبرد.

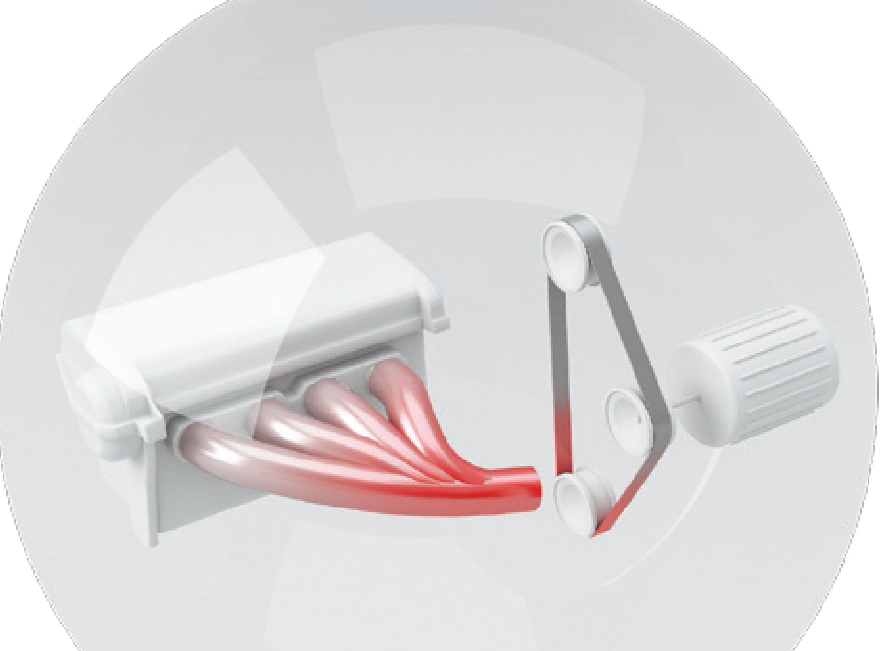
إن أحد الحلول لذلك هو العمل على إبطاء ســـرعة تبريد الإلكترونات وإتاحة زمـــن كاف لاصطيادها. فـــي عام 2010 تحوّل الكيميائي <X. زو> مع زملائه [من جامعة تكســـاس بأوستن] إلى بقع الكمّ التي يتكوّن كل منها من بضعة آلاف من الذرّات. فأدخل <زو> بقعا من ســـيلينيد الرصاص إلى الطبقة الموصلة المؤلفة من ثاني أكسيد التيتانيوم وهي مادة شائعة، وعندما ســـلّط الضوء عليها اســـتغرقت الإلكترونات الســـاخنة زمنا أطول بألف مـرّة حتـــى فقـــدت حرارتهـا. ويقـول <P. كامات> [من جامعـــة نوتردام] وهو غير مشارك في البحث: إن <زو> «برهن فعلا على أن هذه الفكرة ممكنة».

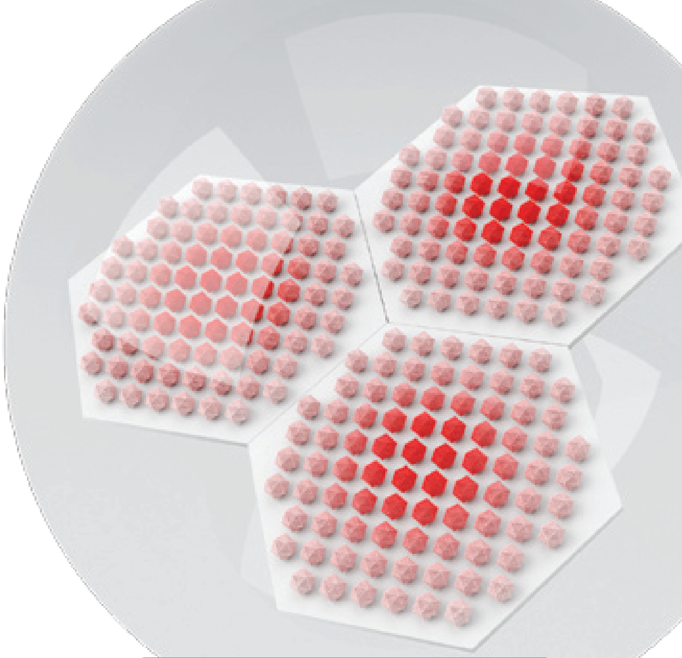
غيـــر أن إبطـــاء الإلكترونات ما هو إلا جـــزء مـــن الهـــدف، إذ يبحث <زو> الآن عن طريقة لمســـاعدة الموصل على تحويل أكبر عدد ممكن من الإلكترونات الســـاخنة إلى تيار حتـــى لا يمتصّها الموصل نفسه كحرارة أيضا.

ويحـــول العديـــد مـــن العوائق دون الوصول إلى خلية شمسيّة فاعلة. «فنحن بحاجة إلى توطيد الجوانب الفيزيائية» - كما يقول <زو>: كيفية تبرد الإلكترونات الساخنة وكيفية انتقالها إلى الموصلات جميعها، «وحالما نفهم جميع ذلك يمكننا أن نحـــدد أفضـــل المـــواد التـــي يتعين استخدامها»، ذلك أن العمل - كما يتنبأ <زو> - «سيســـتغرق فتـــرة من الزمن، ولكنني متأكدٌ من أننا سننجزه، إذ أُريد أن أرى هذه الخلايا الشمسيّة على سطح بيتي.» وقد يكون العائد التجاري هائلا.

<*R.J. مينكل*>

(*) Quantum Photovoltaics





أرجحية 5/3

التأثير المحتمل 5/3

استرداد الطاقة المهدرة

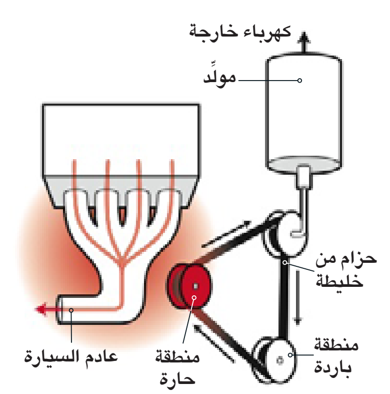
محركات حرارية(*)

تنتج السبائك التي تستذكر الشكل طاقة إضافية للسيارات والأجهزة والآلات.

إن نحو 60% من الطاقة المُنتَجة في الولايات المتحدة مهدورةٌ، تضيع غالبيتها كحرارة من ملايين السيارات ومحطات توليد الطّاقة. ويحاول العلماء في شركة جنرال موتورز في وارن بمتشيگان أسر هذه الطاقة المبدّدة من خلال استخدام مواد غريبة تُدعى **سبائك تستذكر الشكل** shape-memory alloys ويمكنها تحويل الحرارة إلى طاقة ميكانيكيّة تولّد بدورها الكهرباء. إن الهدف الأول لرئيس الفريق <A. براون>، هو إعادة تدوير الحرارة في نظام عادم السيارة لتشغيل المكيّف أو المذياع من دون حاجة إلى قيام المحرّك بذلك.

ويخطط <براون> لجني الحرارة بواسطة حزام مصنوع من عصائب رقيقة متوازية من سبيكة النيكل-التيتانيوم والتي «تستذكر» شكلا معينا. تنقلب كلّ السبائك التي تستذكر الشكل جيئة وذهابا بين وضعين، هما في هذه الحالة: «وضعية بداية» جامدة في درجات الحرارة الأعلى، ووضعية أكثر مرونة في درجات الحرارة الأدنى. يُبسط الحزام - في تصميم جنرال موتورز - فوق ثلاث بكرات تشكّل زوايا مثلث. وتقع إحدى زوايا الحزام بالقرب من نظام العادم الساخن، وزاويته الأخرى بعيدة حيث يكون المحيط أبرد. وبسبب الانكماش عند زاوية درجة الحرارة العالية والتمدّد لدى الزاوية الأبرد يجذب الحزام نفسه حول الحلقة متسببًا في دوران البكرات بسرعة. ويمكن للبكرات أن تدير عمودا يحرك مولدا، حيث تتزايد سرعة دوران الحلقة وتتولد طاقة أكبر مع تعاظم الفارق الحراري.

سبائك (خلائط) تنزع الحرارة



لقد قدّم نموذج شركة جنرال موتورز الأولي دليلا على مبدأ أكثر من جهاز فعلي. إذ تولد جديلة صغيرة وزنها 10 غرامات طاقة متواضعة تبلغ 2 واط تكفي لتغذية مصباح ليليّ. ويزعم <براون> أن هذه التقانة يمكن أن ترتقي لتصل إلى الأسواق خلال عقد من السنين، إذا لم تعق أي مشكلة تقانية طرح محركات حرارية ذات سبائك تستذكر الشكل لتشغيل الأجهزة المنزلية أو أبراج تبريد محطات توليد الطاقة. وتفتح السبائك عالما من التطبيقات - كان فيما مضى يعتبر غير قابل للتطبيق - نظرا لقدرة السبائك على العمل تحت فروق حرارية متدنية تقارب 10 درجات مئوية، كما يقول <G. ماكنايت> [عالم المواد المشارك في مختبرات HRL].

إن تصميم جنرال موتورز بسيط إلا أنه مازال بعيد المنال، فالسبائك التي تستذكر الشكل تعاني الإجهاد فتغدو هشّة. فثمة حاجة إلى ثلاثة أشهر من المعالجة المستمرة لتضمين الحالة العادية في ذاكرتها؛ إضافة إلى صعوبة ضم الأسلاك لجعلها حزاما. كما أن

(*) Heat Engines

تحديد كيفية تسخين وتبريد الحزام باستخدام الهواء يشكل تحديا أيضا. ولا يحدِّد ‹براون› بدقة كيفية قيام فريقه بالنظر في حل هذه المشكلات باستثناء إشارته إلى أنهم يغيرون أقطار الأسلاك وهندسة الحزام وطرق تسخين الحزام وتبريده – كل متغير «يمكن للعلم وللمرء أن يفكّر فيه.»

ليست جنرال موتورز الوحيدة في البحث في إعادة تدوير الحرارة، إذ يطوّر ‹S. سينها› [من جامعة إيلينوي] مواد لدنة في حالة صلبة يمكنها تحويل الحرارة إلى كهرباء، وإذا أمكن إدخال محركات حراريّة في بنية المعدّات الرّاهنة والمستقبليّة فالتطبيقات لا نهاية لها: بدءا من آلاف أبراج التبريد ومراجل المصانع إلى ملايين المشعات والثّلاجات والمداخن المنزليّة، إضافة إلى التراكتورات والشاحنات والقطارات والطائرات. إذ يمكن في العالم توليد كوينتليونات (10^{18}) من **الجُولات** joules، ومن ثم تخفيض استهلاك الوقود الأحفوري بشكل كبير.

‹P.B. تريفيدي›

آليات

موجة الصدمة لمحركات السيارات(*)

تتحرك السيارات العاملة على توربين الغاز بصورة أسرع بخمسة أمثال السيارات المهجنة والمحرَّكة بالمكبس.

أرجحية 5/3

التأثير المحتمل 5/3.5

ظلت المحرّكات ذات المكبس مدة تزيد على قرن من الزمن وهي تسيِّر جميع السيارات والشاحنات تقريبا. وحتى آليات اليوم المهجّنة، إضافة إلى طيف جديد من السيارات الكهربائية مثل شيڤي ڤلط، تستخدِم محركات صغيرة ذات مكابس لتحسين الطاقة ولإعادة شحن البطاريات بكفاءة أكبر. ولكن جامعة ولاية متشيگان تطوّر اليوم تصميما مختلفا تماما – يُعرَف بمحرّك قرص الموجة أو محرك موجة الصدمة – الذي يستغني عن المكابس. وفي حال نجاح المشروع فإن المحركات المهجّنة المستقبليّة ستقطع بلتر واحد من البنزين مسافات أطول بخمس مرّات.

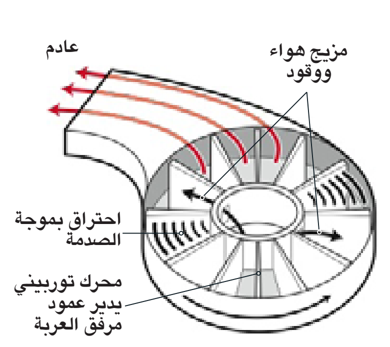
إن حجم المحرّك المدمج هو بحجم وعاء طهي، ويتطلب تجهيزات أقلّ بكثير من محرّك المكبس كما يقول المخترع المشارك ‹N. ميلّر› [أستاذ الهندسة الميكانيكية في جامعة ولاية متشيگان] إذ لا حاجة إلى المكابس والقضبان وهيكل المحرك. ويمكن للكتلة المختزلة وكفاءة الوقود العالية أن تدفع «سيّارة مهجنة تشحن بمقبس كهرباء مع مكابح ذاتيّة التجدّد إلى مسافة أطول بخمس مرات بالكمية ذاتها من الوقود، ومن ثم تخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون»، على حد قول ‹ميلّر›. كما يمكن لهذا النظام أن يخفّض تكاليف التصنيع بما يصل إلى 30%.

يختبر الآن ‹ميلّر› وفريقه على طاولات التجارب بمختبرهم في إيست لانسنگ نموذجا أوليّا لمولد قرص الموجة، وذلك بهدف عرض محرّك يعمل بقدرة 25 كيلوواط (33 حصانا)، إذ يتوقع ‹ميلّر› أن تكون كفاءة تحويل الطاقة لآلته الأولى نحو 30%، وهي نسبة قريبة من نسبة الـ 45% لمحرّكات الديزل الرائدة، ولكنّه متفائلٌ بأن التحسينات يمكن أن ترفع الكفاءة إلى 65%.

وفي محرّك الاشتعال التقليدي بشرارة، تشعل شمعة الاحتراق مزيجا من البنزين والهواء في الحجرة، محركة مكبسا يقوم بدوره بتدوير عمود مرفق يدير في نهاية المطاف عجلات السيّارة. كذلك يقوم المكبس في محرك الديزل بضغط الوقود والهواء بقوة ويشعله فتتمدّد غازات الاحتراق الناتجة وتحرّك المكبس إلى الخلف مدورة عمود المرفق.

تحدث عملية توليد الطاقة، في تصميم قرص الموجة، ضمن توربين يدور بسرعة. تصوَّروا أن مروحة طاولة موضوعة بشكل أفقي على سطح الطاولة وأن لها شفرات كثيرة منحنية مع إطار يحيط بحافتها الخارجية. يدخل من عمود الدوران المركزي هواء ساخن مضغوط ووقود في الفراغات الكائنة فيما بين الشفرات، وعندما يشتعل المزيج العالي الضغط تتمدّد الغازات في الفراغ المحصور، محدثة موجة الصدمة التي تتسبّب في ضغط الهواء في الفراغ المتبقي. كما تتسبّب الانعكاسات التالية لموجة الصدمة خارج

احتراق مُدار بالتوربين



(*) Shock-Wave Auto Engine



الإطار بضغط أكبر للهواء وبتسخينه، فيتحرّر هذا الهواء في اللحظة المناسبة عبر الإطار. إن قوة الغازات المضغوطة على الشفرات المنحنية، إضافة إلى قوة نفث الغاز المنبثقة تدفع الجزء الدوار إلى الدوران، مسببة بالتالي دوران عمود المرفق.

ووفقا للمخترع المشارك في آلات قرص الموجة – ‹J. بيشنا› [الأستاذ المشارك بجامعة وارسو التقنية في بولندا] – بدأ المهندسون في عام 1906 بدراسة آلات الموجة الدوّارة. وحاليا تستخدم هذه الآلات العالية الطاقة في بعض السيارات الرياضيّة. ولكن الجزء الصعب هو معرفة كيفية إدارة الانسيابات غير المستقرة للغازات. ويتطلّب التنبؤ بالسلوك غير الخطّي المعقد لهذه الانسيابات المتقطّعة حسابات رقميّة تفصيليّة ظلت – على حد قول ‹ميلّر› – إلى فترة قريبة تستنفد وقتا طويلا، أو تكون غير دقيقة فيصعب تطبيقها. إن المحاكاة العالية الدقّة التي أُنجزت في ولاية متشيگان وفي أمكنة أخرى تقود اليوم التشكيل الدقيق لهندسة الشفرات ولانشطار توقيت الاحتراق بأجزاء من الثانية من أجل التوصّل إلى الأداء الأفضل.

ويبقى من غير الواضح ما إذا كان بمقدور نماذج حاسوبية أن تفضي إلى آلات عمليّة على الطرقات. ويقول ‹D. پاكسون› الذي صمم نماذج الانسياب في مركز گلين لأبحاث ناسا في كليڤلاند: «ما زالت تقانة **دوار الموجة** wave-rotor تنطوي على بعض الصعوبات في الإنجاز»، ويعلق بشيء من الشكّ الواقعي والإعجاب بأن مشروع ولاية متشيگان «يدفع بلا ريب نحو الأفضل»، ويضيف: «مهما كانت النتائج النهائية، فإنني متأكد من أنهم قد تعلموا الكثير».

ويبدو أنّ ‹ميلّر› لا يشك كثيرا في أنه إذا تمكن فريقه من بناء مولد موجة القرص بشكل صحيح، فسيشق هذا المولد طريقه إلى مركبات مهجنة صديقة للبيئة، بدءا من الدراجة ذات المحرك إلى السيارات العائليّة وصولا إلى شاحنات نقل البضائع. مضيفا: «إنها فقط مسألة وقت وجهد وخيال؛ ومال بالطبع».

‹ح. أشلي›

أرجحية 5/3.5

التأثير المحتمل 5/3

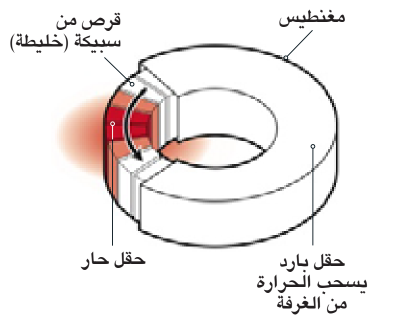
أجهزة مكيفات هواء مغنطيسية(*)

سوائل غير تقليدية تُبقي على الغرف منعشة والطعام باردا.

إن المكيّفات والثلاجات والمجمّدات تساعد على تبريد حياتنا، غير أنها تُدار بالطاقة فتستهلك بذلك ثلث الكهرباء المُستخدَمة في بيوت الولايات المتحدة. ومن الممكن تخفيف هذا المقدار بشكل كبير من خلال تقنية جديدة تعتمد على المغنطيس.

تقوم معظم المبردات التجارية بضغط الغاز المُبرّد ومن ثم إزالة الضغط عنه عبر دائرة متكررة. يَسحب المبرِّدُ – عندما يدور – الحرارةَ من داخل غرفة أو من الجهاز. غير أن الضاغطات (الكمبرسورات) تستهلك قدرا كبيرا من الطاقة. وعندما تنبعث معظم الغازات الشائعة الاستخدام فإنّها تسخن الغلاف الجوي بمقدار يزيد 1000 ضعف على ما يسخنه ثاني أكسيد الكربون، جزيئا بجزيء.

هواء بارد من المغنطيس



يقوم الباحثون اليوم في مؤسسة أسترونوتيكس الأمريكية بميلواكي بتطوير مبرّد يعتمد على المغنطيس يحل محلّ الضواغط. فعندما يتم تعريض كل المواد المغنطة لحقل مغنطيسي تسخن إلى حد معين ثم تبرد عند إزالته، وهي سِمة تدعى «التأثير المغنطيسي الحراري». تختزن الذرات الحرارة على شكل اهتزازات، وعندما يقوم الحقل المغنطيسي برصف

(*) Magnetic Air Conditioners

الإلكترونات في معدن ما – ويمنعها من حرية الحركة – فإن اهتزازات ذرات المعدن تزداد وتسخن. فإذا أزيل الحقل انخفضت درجة الحرارة. لقد اكتشفت هذه الظاهرة عام 1881، إلا أنها أهمِلَت في الأغراض التجاريّة، لأنّ المغنطيس البارد المصنوع من **الموصلات (النواقل) الفائقة** superconducting سيكون من الناحية النظرية مطلوبا كي يزيد – إلى الحدّ الأقصى – من تأثير درجات الحرارة المنخفضة. إلا أن علماء المواد في مختبر آميس بولاية أيوا التابع لوزارة الطاقة الأمريكية – بالتعاون مع أسترونوتيكس – توصلوا عام 1997 إلى سبيكة من الگادولينيوم والسيليكون والجرمانيوم أظهرت تأثيرا مغنطيسيا حراريا كبيرا في درجة حرارة الغرفة. ومنذ ذلك الوقت قامت المؤسسة بالتركيز على سبائك أخرى من هذا القبيل.

وحاليا تقوم أسترونوتيكس بتصميم مكيّفات تهدف إلى تبريد شقّة أو بيت بمساحة 1000 قدم مربع. يحوي قرصٌ مسطّح صغيرٌ أسافين مساميّة مصنوعة من إحدى هذه السبائك، ويحيط بهذا القرص مغنطيس ثابت دائم المغنطة ودائري الشكل يقع في المستوي نفسه. وللمغنطيس فجوة في طرف واحد يتركز الحقل المغنطيسي عندها. ومع دوران القرص يمرّ كلّ أسفين مغنطيسيّ حراريّ عبر الفجوة فيسخن ثم يعود فيبرد بعد تجاوزه إياها. فيتمّ تسخين السائل الدائر ضمن النظام ثم تبريده بواسطة الأسافين الدوّارة، ويمتص السائلُ المبرّدُ الحرارةَ من الحجرة. وقد صمّم المغنطيس بعناية لمنع الحقل من التبدّد خارج الآلة، لذا فإنه لا يؤثر في الإلكترونيات المجاورة أو الناس المزودين بأجهزة تنظيم ضربات القلب.

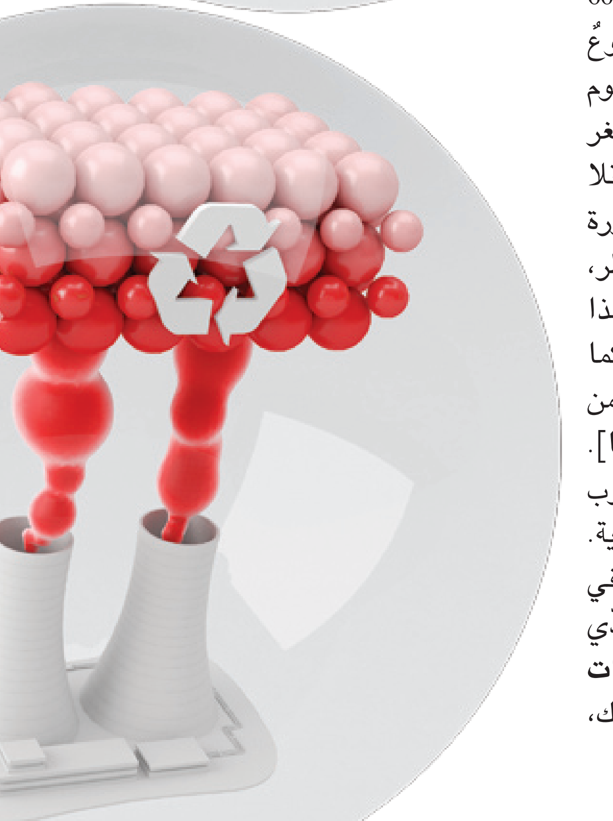
يقوم الضاغط في المبرّدات التقليدية بمعظم العمل. أما في المبردات المغنطيسية فإن المحرّك الذي يدوّر العجلة يقوم بمعظم العمل، والمحركات في العادة أكثر كفاءة بكثير من الضواغط. وتسعى مؤسسة أسترونوتيكس إلى إنجاز نموذج أوليّ بحلول عام 2013 قادر على خفض استخدام الكهرباء بمقدار الثلث مقابل المقدار ذاته من التبريد. وفضلا عن ذلك فإن هناك ميزة إضافية مهمة، إذ تستخدم الوحدة الماءَ لنقل الحرارة، «ولا يمكن وجود شيء أكثر صداقة للبيئة من ذلك»، كما يقول <S. جيكوبس> [مدير مركز التقانة في مؤسسة أسترونوتيكس].

يمكن ملاءمة التصميم من أجل الثلاجات والمجمّدات، وذلك على الرغم من ضرورة السيطرة على كثير من التعقيدات لإيجاد نموذج أوليّ ناجح. إنّ السيطرة على الكيفيّة التي ينساب فيها الماء عبر الأسافين المسامية أمرٌ صعب، فالقرص يدور 360 إلى 600 مرة في الدقيقة، والمغنطيس مصنوعٌ من سبيكة مرتفعة الثمن من النيوديميوم والبورون، لذا فإن تصغيره إلى أصغر ما يمكن – مع الإبقاء على تقديمه حقلا مغنطيسيّا قويّا – سيكون ضرورة تجاريّة: «إنها لتقانة عالية المخاطر، ولكنها ذات احتمال واعد، وإن هذا المستوى من الأداء هدفٌ معقول»، كما يقول مهندس الميكانيكا <A. روه> [من جامعة ڤيكتوريا في بريتيش كولومبيا].

يقوم العلماء اليوم بإجراء التجارب بتقانات تبريد أخرى غير اعتيادية. فشركة شيتاك Sheetak الكائنة في أوستن بتكساس، تطوّر مبرّدا يؤدّي العمل بالاستغناء التام عن **غازات التبريد** refrigerants، إذ، وبدلا من ذلك، تعتمد على مواد حرارية كهربائية تبرد على أحد وجهيها وتسخن على الوجه الآخر عند تعرضها للكهرباء. وبطريقة أو بأخرى، فإن استهلاك كمية أقل من الوقود وخفض انبعاثات **الاحترار العالمي** global warming – يمكن أن يجعلا العالم مكانا ألطف.

<Ch. Q. تشوي>





أرجحية 5/3.5

التأثير المحتمل 5/2

انبعاثات

فحم نظيف(*)

ملح يمتص الكربون من المداخن.

الفحمُ هو أرخص مصادر الطاقة وأكثرها وفرة في الولايات المتحدة، وهو كأغلب المصادر الغنية بالكربون والوفيرة محفز رئيس للتغيّر المناخي. لقد استنبط المهندسون طرقا مختلفة لإزالة ثاني أكسيد الكربون من عوادم المصانع العاملة بالفحم قبل دخوله في الغلاف الجويّ، ولكن هذه العمليات تستنزف ما يصل إلى 30% من الطاقة الناتجة من حرق الفحم في المقام الأول. ويمكن لهذا العبء أن يضاعف تكلفة الكهرباء المولّدة، مما يجعل الحرق النظيف للفحم أمرا يصعب تقبله.



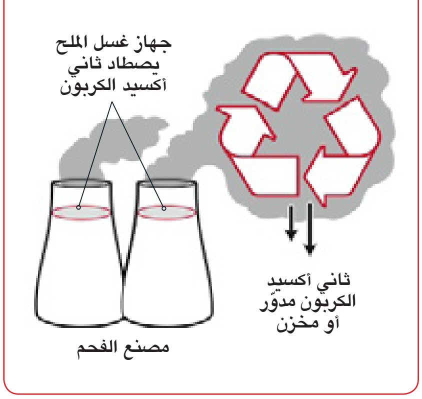
والفكرة جَذّابة جدا بحيث دفعت وكالة أبحاث مشاريع الطاقة المتقدمة التابعة لوزارة الطاقة الأمريكية، ووكالات أخرى، إلى ضخ أموال لدفع أبحاث التقانات التي قد تقلل من تلك النسبة غير المقبولة. ويستخدِم هذا تصميمٌ لافت للانتباه على وجه الخصوص - مقدّمٌ من مركز الطاقة التابع لجامعة نوتردام - مادة جديدة تدعى **السائل الأيوني** ionic liquid، وهو في أساسه نوع من الملح. وأولى فوائده أنه يمتصّ ضعف مقدار ثاني أكسيد الكربون الذي تمتصّه ممتصّات الكربون الأخرى الشبيهة كيميائيا. وبذلك تبرز ميزة إضافية ثانية تتمثّل بخضوعه لتحول من الحالة الصّلبة إلى السائلة فتنطلق بسبب هذا التحوّل حرارة يُعاد تدويرها للمساعدة على إخراج الكربون من السائل، وبالتالي يمكن التخلّص منه.

وتقول <ل. برينيك> [المهندسة الكيميائية ومديرة مركز الطاقة]: «تظهر نمذجتُنا أن علينا أن نكون قادرين على خفض **الطاقة الطفيلية**(1) إلى 22 أو 23%.» وتضيف: «ونود تخفيضها في نهاية المطاف إلى 15%.» ويقوم فريقها ببناء وحدة تجريبية لإثبات هذه التقانة.

ولئن بدت هذه التقانة نظرية في المرحلة الراهنة، فإنها - كما تعترف <برينيك>: «في واقع الحال جذرية، لأنّ هذه المواد جديدة تماما،» إذ لم يكد يمضي على اكتشافها عامان. فمجموعة «برينيك» باشرت لتوّها باستطلاع هذه المواد، وقد تبرز مشكلات غير متوقعة في أيّة مرحلة. وحتى لو نجحت العملية في المختبر فربما لا يمكن تطويرها إلى مستوى محطّة توليد الطاقة.

فضلا عن ذلك، فإذا نجحت عملية التخلّص من الكربون فلابد من تخزينه في مكان ما. والفكرة الرئيسة التي يناصرها العلماء هي حقنه في تشكيلات صخريّة مساميّة تحت الأرض بعملية تُعرف باسم **العزل** sequestration، والتي تمت تجربتها حقليا، ولكنه لم يتم إثباتها على مدى واسع. وهناك فكرةٌ تجريبيّة أخرى وهي مزج ثاني أكسيد الكربون مع السيليكات، مولّدا بذلك العملية الطبيعيّة التي يندمج فيها ثاني أكسيد الكربون في الصخور الكربونية فيصبح **خاملا** inert.

نزع الفحم



ومما ينبغي التصدّي له أيضا القضايا الصحيّة والبيئيّة المرافقة لتعدين الفحم، والتخلص من الرماد المتبقي بعد الاحتراق. وهذه المشكلات الكثيرة تجعل علماء البيئة يستشيطون غيظا عندما يسمعون تعبير «الفحم النظيف». ومع ذلك فما زال الفحم على غاية من الوفرة والرخص الأمر الذي يشجع على تجريب الأفكار الخطرة التي - إن نجحت - ستؤدي إلى محاربة التغيير المناخي بشكل كبير.

<M. ليمونيك>

(*) Clean(er) Coal
(1) parasitic energy

مراجع للاستزادة

Radical projects being funded by the U.S. Department of Energy's ARPA-E program: http://arpa-e.er
Fusion-triggered fission: https://lasers.llnl.gov/about/missions/energy_for_the_future/life
Quantum photovoltaics: www.utexas.edu/news/2010/06/17/quantum_dot_research
Solar fuels: http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bk-2010-1056.ch001
Shock-wave engines: www.nextbigfuture.com/2009/10/wave-disc-engines.html

Scientific American, May 2011

صلابة التحمل الحَقَّة من منظور علم الأعصاب(*)

عندما تحلُّ بنا مصيبة، فمن المدهش أن معظمنا يعود في نهاية الأمر ليستأنف مسار حياته المعتاد على نحو جيد. فمن أين تأتي مثل هذه القدرة على استعادة التوازن والحيوية(١) بعد تلك المصيبة؟

‹G. ستكس›

في خريف عام 2009، حدث أن كانت ‹J. B. ميلّر› في سيارتها مع زوجها عائديْن إلى المنزل، بعد زيارة والدتها في منطقة شلالات نياگارا، بولاية نيويورك؛ ومرت على حاجز للشرطة على الطريق بالقرب من مدخل مجمع جامعة نياگارا، وبينما كانت أضواء عربة إسعاف تلمع أمامها، خطر لها أن عليها أن تتوقف، وتطلب إلى أحد مساعدي الإسعاف الموجودين في الموقع أن يتحرى عما إذا كانت السيارة المصابة تحمل على لوحتها علامة "J Mill"، فقد كانت السيدة ‹ميلّر› تعرف أن ابنها «جوناثان»، البالغ من العمر 17 عاما قد غادر المنزل بسيارته. وبعد دقائق قليلة رأت شرطيا وقسيسا يقتربان منها فأدركت، حتى من قبل أن يصلا إليها، ما سوف يقولانه لها.

لقد كانت وفاة ولدها بهذا الحادث، نتيجة لمشكلة طبية لم تُشخَّص، وتسببت في وفاته الفجائية حتى قبل اصطدام سيارته بشجرة. وقد كان لوفاته أثر مدمر فيها. «كان الزمن لا يكاد يتحرك في الأيام التي تلت مباشرة موت ‹جوناثان›.

وكانت تقول: «إن الأسبوع الأول كان أشبه شيء بالأبدية، فقد كنت أعيش دقيقة بدقيقة، وليس ساعة بساعة. وكان يحدث أن أستيقظ فجأة ولا أفكر في أي شيء يتعدى ما هو أمامي.»

لقد جاءها العون والمساندة من جهات متعددة، بما في ذلك قراراتها الشخصية هي نفسها. فقد شارك في جنازة ‹جوناثان› وتحية جثمانه خمسمئة من زملاء مدرسته الثانوية، وقد ساعد تعبيرهم هذا عن مشاعرهم تجاه ولدها على تسكين الألم عندها. كما أنها وجدت عزاء لها في عقيدتها الكاثوليكية المخلصة. وبعد انقضاء أسبوعين رجعت إلى عملها كخبيرة في شؤون الموظفين، كما استطاعت، بعد بضعة أشهر إثر الحادث، أن تزور المطعم الذي تناولت فيه آخر إفطار لها بصحبة ولدها في يوم وفاته. ولم يتذبذب مطلقا العون والمساندة اللذان كانت تتلقاهما من جيرانها وأصدقائها. وقد

(*) THE NEUROSCIENCE OF TRUE GRIT
(١) resilience
(٢) bereavement
(٣) coping ugly

باختصار

كان السائد تقليديا بين علماء النفس أن **القدرة النفسية على استعادة التوازن والحيوية**(١)، في مواجهة الإجهادات النفسية الشديدة التي تسببها ضغوط الحياة، هي حدث نادر اعتياديا، وأنها ناتجة إما من جينات محظوظة أو من تزاوج موفق بين أبوين.

ولكن الأبحاث في شأن **حالات فقد الأب أو الأم أو الولد**(٢)، وفي شأن الكوارث الطبيعية، قد أظهرت في الأعوام الأخيرة أن صفة استعادة التوازن والحيوية إثر التعرض لمصيبة، إنما هي، في واقع الأمر، صفة مألوفة ومعتادة نسبيا.

وإن البشر يستجيبون بسلوكيات متنوعة لما تحمله الحياة إليهم من مصائب أو كوارث. وبعض هذه السلوكيات يمكن تصنيفه على أنه نرجسي أو غير متوافق وظيفيا في ناحية أخرى.

إلا أن أشكال السلوك هذه، وهي التي أُطلق عليها أحد الباحثين «**المواجهة السيئة مع المشكلات**»(٣)، تقوم في نهاية المطاف بدور مساعد على التكيف في أزمة.

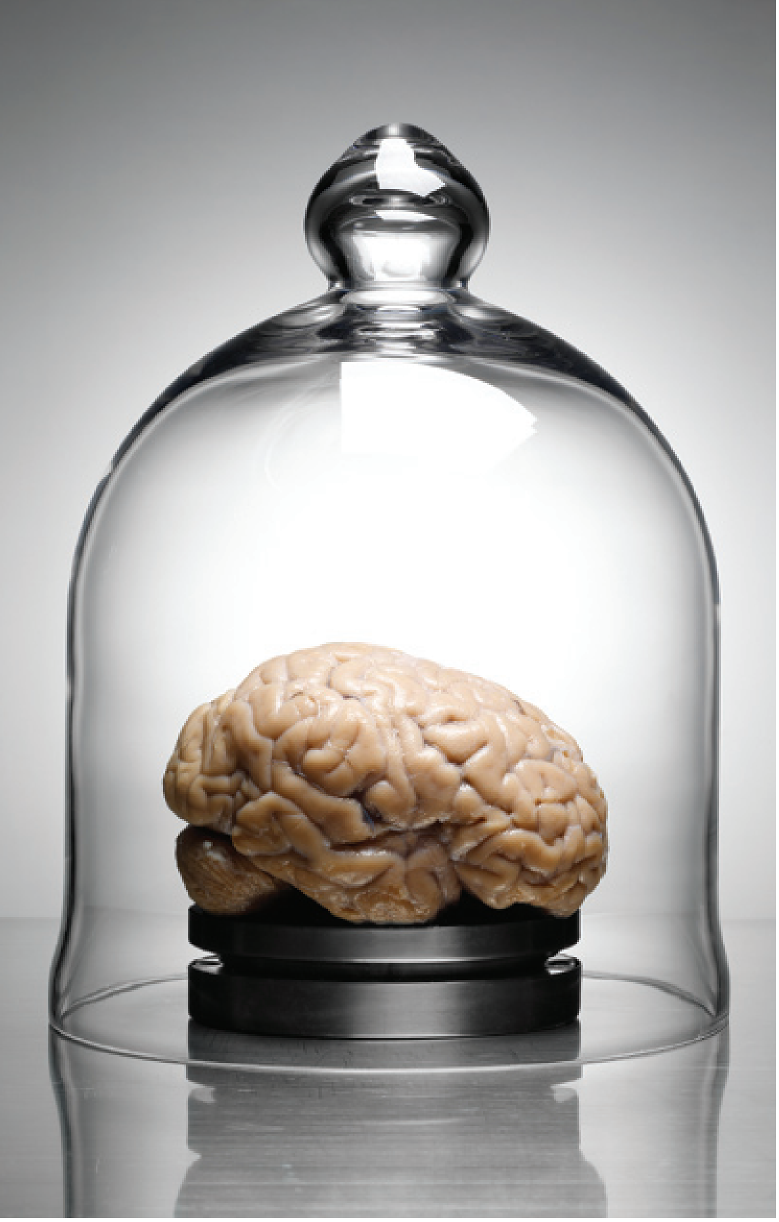
وهكذا يُطرح التساؤل حول ما إذا كانت التدخلات العمدية لتعليم القدرة على استعادة التوازن والحيوية – وهي برامج مطبقة بالفعل في بعض المدارس وفي الجيش الأمريكي – ستُعين حقا إذا كان الناس قادرين على مواجهة أزماتهم الحادة بأنفسهم.

احتُفِل بتكريم ذكرى ‹جوناثان› بمناسبة تخرج دفعة مدرسته الثانوية، كما أن صفحة ‹جوناثان› على «الفيسبوك» بعنوان ‹(جوناثان "J Mill" ملّر)›، تستقبل بانتظام زوارا جدا؛ ويقدم مقهى محلي قهوة "76"، في ذكرى عضو فريق كرة القدم المتقاعد الآن. وقد استمرت، خلال سنة إثر وفاة ولدها تبكي كل يوم، إلاّ أنها وجدت طرقا كثيرة للتغلب على أحزانها.

إن ما يحدث عندما تحل كارثة، مثلا، وفاة في العائلة أو هجوم إرهابي أو وباء لمرض فتّاك أو خوف يشل قوى المرء وسط معركة ما، هو أننا نحس بشعور من الصدمة العميقة ونتيه حيارى. ولكن علماء الأعصاب وعلماء النفس الذين قاموا بدراسة آثار تلك الأحداث المفزعة الرهيبة توصلوا إلى إدراك شيء غير متوقع: إن معظم ضحايا المآسي سرعان ما يستعيدون قوتهم، ويخرجون في النهاية من أزماتهم من دون أن يمسهم سوء من الناحية الوجدانية. نعم، إن معظمنا يُظهرون على نحو غير متوقع، قدرة طبيعية على استعادة التوازن والحيوية بعد المرور بأسوأ ما تقذفنا به الحياة في طريقنا.

إن دراسة القدرة على استعادة التوازن والحيوية تبدأ بالكشف عن سلسلة من آليات أساسية، وذلك من خلال صور المخ وقواعد بيانات الجينات، إضافة إلى الأدوات التقليدية لدى علماء النفس باستخدام استبانات علم الاجتماع. فقد ظهر أنه، ما أن تحل مصيبة بنا حتى تأخذ عوامل حيوية – كيميائية وجينية وسلوكية في العمل معا من أجل استعادة توازننا الوجداني. وتسعى الأبحاث العلمية في هذا الصدد إلى فهم متعمق للقواعد التي تقوم عليها القوة الوجدانية لدى البشر، وهذا الفهم سوف يدلنا يوما ما على ما يمكن فعله في حال فشل سيرورات الالتئام الطبيعية في القيام بدورها.

وفي الوقت الحاضر، فإن المدارس والمعاهد والجيش والهيئات المختلفة لا تنتظر تحديد الصورة الكاملة عن الجينات وناقلات الرسائل في الأعصاب وما إلى ذلك، حتى تقوم بتنفيذ برامج من أجل تقوية المناعة ضد أضخم التوترات التي نصاب بها. وهكذا، وفي غياب دليل أو كتيب نهائي في موضوع القدرة على التحمل في أوقات الشدة، طرحت مناقشات قوية حول ما إذا كان العبث بما قد يكون سمة فطرية للإنسان هو مما يمكن أن يؤدي بنا إلى حال يكون أسوأ مما نكون عليه بشكل طبيعي. وهذه المناقشة العامة تكتسي الآن طابع الاستعجال غير العادي، حيث إن الجيش الأمريكي يبدأ بالقيام ببرنامج تدريبي عملاق يستهدف غرس القدرة على استعادة التوازن والحيوية في نفوس أكثر من مليون جندي وعائلاتهم، وهو برنامج ربما كان واحدا من



أضخم التدخلات السيكولوجية التي قامت بها في أي وقت مضى، مؤسسة منفردة.

آليات استعادة التوازن الحيوية إثر بلاء مُلِمّ(*)

في عام 1917، تحدث ‹S. فرويد› عن ضرورة القيام بمهمة «التخلص من آثار» الكوارث، وبهذا نستعيد الطاقة الوجدانية، أو «اللبيدو» libido كما كان يُسميها، التي كنا قد كرّسناها لما أصبح الآن «كيانا غير موجود»، وفي عبارة أخرى، المتوفى. وهذه النظرة – التي ترجع إلى نحو قرن من الزمن، والتي تَعتبر «النفس» منظومة من القنوات لتفريغ قوى الحياة اللامدركة وتوجيهها – كانت هي السائدة، لعدم وجود دليل على ضدها، لكنها لم تعد كذلك منذ بضعة عقود: وذلك منذ أن أخذ علماء النفس وعلماء الأعصاب يتفحصون إمكان

(*) THE MECHANISMS OF RESILIENCE



<د. B. ميلّر> وقد اجتازت الأيام العصيبة التي أعقبت وفاة ابنها عام 2009، وهي تلمس الشجرة التي اصْطدمت بها سيارة ابنها جوناثان.

تقديم تفسيرات جديدة بديلة.

وأحد الأمور التي بدؤوا بالنظر إليها كان طبيعة القدرة على استعادة التوازن والحيوية. وقد استخدموا لذلك المصطلح الإنكليزي resilience الذي أخذوه من العلوم الطبيعية وأدخلوه في مفردات علم النفس. ويقول <Ch. M. لين> [الباحث في القدرة على استعادة التوازن والحيوية في جامعة كاليفورنيا، بلوس أنجلوس]: «إن هذا المصطلح، من الناحية السلوكية، يعني أساسا أنك تعود وثبا إلى سابق أدائك لوظائفك خلال فترة قصيرة من الزمن»، تماما كشأن الذراع المتذبذب الفولاذي، الذي ينثني تحت تأثير الضغط ثم يعود بعد ذلك إلى وضعه الأصلي. وبطبيعة الحال، فإنه لا وجود في رؤوسنا لشريط معدني يعمل عمل منظم الحرارة (الثرموستات)، فينثني حين تشتد انفعالاتنا، ويطلق شلالا عصبيا كيميائيا يجعلنا نعود إلى سابق عهدنا من حيث حالة التوازن الانفعالي. فقد وجد العلماء أن جهازنا البيولوجي هو أعقد بكثير من أن يُشبّه بحالة في علم المعادن.

إن استعادة التوازن والحيوية تنطلق من مستوى أولي: فحينما يندفع أحدهم نحوك، فإن **الهيبوثالاموس (المهاد الأدنى)**[(١)] – وهو محطة ترحيل في المخ يربط النظام العصبي بنظام الغدد الصماء في الجسم – يسارع إلى إطلاق إشارة الإجهاد الحاد، وذلك على شكل **كورتيكوتروبين**[(٢)]، الهرمون المحفز لقشرة الغدة الأدرينالية، وهو الذي يبدأ بدفع سيل كيميائي يخبرك بأن تضم قبضتي يديك أو أن تمضي بعيدا إلى حيث الأمان. فمخك يأخذ في الخفقان كضوء ومضي: «هاجم أو اهرب»، «هاجم أو اهرب». وبعد ذلك يتجه الإعصار البيولوجي نحو الهمود. أما إذا كنت على التوالي مطالبا بالدفاع عن عرينك، فإن مجموعة من هرمونات الإجهاد الحاد تأخذ في التدفق من دون توقف. وأحد هذه الهرمونات، وهو الكورتيزول، الذي تنتجه غدة الأدرينالين بجوار الكليتين، يمكنه فعليا أن يسبب تلفا لخلايا المخ في منطقتي **الحصين (قرن آمون)**[(٣)] و**اللوزة**[(٤)]، وهما المنطقتان المتصلتان بعمل الذاكرة والمشاعر الوجدانية. وبذا تنتهي عندك حالة تحطم شعوري وجسدي. ولحسن الحظ، فإن الغالبية العظمى منا لديها القدرة على استعادة التوازن والحيوية.

إن هرمونات الإجهاد النفسي، وبمساعدة بعض العناصر البيولوجية الكيميائية الواقية، يبدو أنها تطفئ هذا الإجهاد بسرعة أكبر عند الأشخاص الذين لديهم القدرة على استعادة التوازن والحيوية. ففي السنوات الأخيرة، اكتشف بعض العلماء عددا من **العُلّامات**[(٥)] البيولوجية التي تدل على أن شخصا ما يمكن أن يكون قادرا على أن يصبح صلب العود بحيث يستعيد توازنه وحيويته. وقائمة تلك العُلّامات طويلة ومن ضمنها مواد كيميائية من قبيل المادة (DHEA)[(٦)]، التي تقلل من قوة تأثير الكورتيزول، و**الببتيد العصبي Y**[(٧)]، الذي يبدو وكأنه، إلى جانب أمور أخرى، يقلل من حدة القلق عن طريق تحييد آثار الهرمون المفرز للكورتيكوتروبين، الذي يطلقه الهيبوثالاموس في المخ. وفي عام 2000 وجد <S. D. تشارني> وباحثون آخرون في المستشفى VA وست هاڤن، بجامعة ييل، أنه تحت وطأة الإجهاد الحاد **لاستنطاق صُوَري**[(٨)]، يكون أداء الجنود الأمريكيين ذوي مستويات الدم العالية من الببتيد العصبي Y أفضل من غيرهم خلال التمرين. بعد ذلك، وفي عام 2006، اكتشفت <R. يهودا>، وآخرون، في المركز الطبي لشؤون قدامى المحاربين في برونكس، أن وجود

(١) hypothalamus
(٢) corticotropin
(٣) hippocampus
(٤) amygdala
(٥) signposts
(٦) dehydroepiandrosterone
(٧) neuropeptide Y
(٨) mock interrogations

مســـتويات عالية من ذلك العنصـــر الكيميائي عند المحاربين القدماء، كان يعني انخفاض درجة احتمال خطر الوقوع في **الاضطراب (PTSD)**[(١)].

وهنـــاك عـــدد من المســـارات البيولوجية – سلاســـل من البروتينات المتفاعلة التي تســـهم في شـــيء ما متعدد الأوجه كالقدرة على اســـتعادة التوازن والحيويـــة. ولكن حتى الآن، فـــإن ما قام به العلماء لا يزيد إلا قليلا على الاقتراب حينا ثم الابتعاد حينا آخر عن مجموعـــة من ملامح جزيئية للبروفايل البيولوجي للنفس الجســـورة الشـــديدة القدرة على التحمل. وفي الشـــهر 2010/5، أبلغ <E. J.> نســـتلر> وزملاؤه [في معهد ماونت ســـايناي الطبي] عن وجود بروتين، أطلق عليه اســـم DeltaFosB، بدا لهم أنه يحمي الفئران، وربما البشـــر أيضا، فـــي مواجهة الإجهاد الحاد الذي يســـببه وجود الفأر وحيدا ومعـــزولا، أو كونـــه مهددا من قبـــل فأر أكثـــر عدوانية منه. ويقوم هذا البروتين بدور **المفتـــاح الجزيئي**[(٢)] لمجموعة كاملة من الجينات (التي تتســـبب في إنتاج البروتينات التي تحمل كودهـــا). وقد ثبت وجود هذا البروتين بمســـتويات عالية في القوارض التي أظهرت قدرة على استعادة التوازن والحيوية، بينمـــا ثبت نقصها في خلايا أدمغة جرى فحصها بعد الوفاة لمرضى كانوا مصابين بتوتر الإجهاد الحاد. وهكذا، فقد بدا أن الدواء الذي يزيد من نسبة البروتين DeltaFosB ربما أمكنه أن يقي من الاكتئاب وأن يدعم بوجه عام القدرة على استعادة التوازن والحيوية.

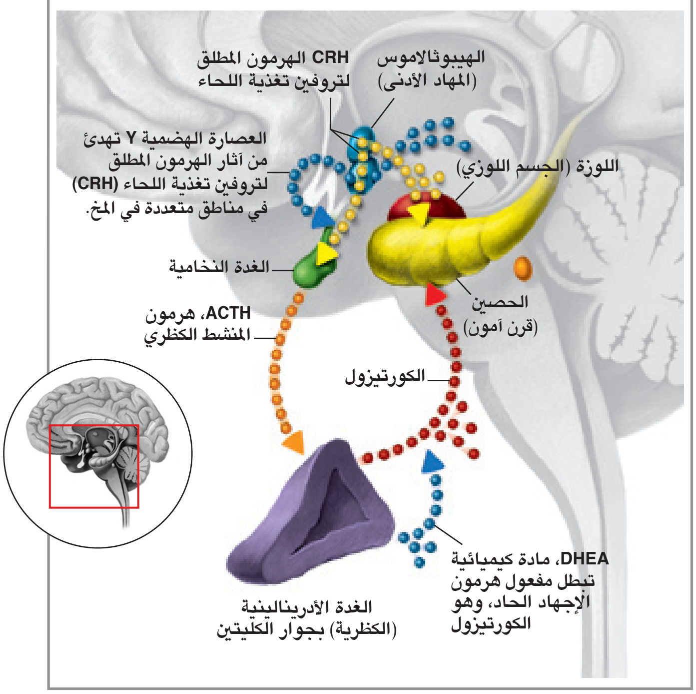
ومـــع كل هـــذا، فإنه لا يـــزال أمامنا بعـــض الوقت حتى يمكن أن يظهر مشـــروب من مشروبات الطاقة يمكن أن يُدعم بمسحوق القدرة على استعادة التوازن والحيوية. فحبة العقار التي ترفع من إنتاج المخ للبروتين DeltaFosB ربما تصبح في يـــوم ما حقيقة واقعة. أما في الوقت الحالي، فإن التجارب لا تزال تجرى على القوارض، وبوســـيلتها يستكشف الباحثون دقائق عنصر كيميائي لا يعمل فقط على مســـاعدة الفأر على التحمل **بنبالة**[(٣)] لأقوى جهود المشتغلين في المختبر من أجل إصابته بذعر يكاد يتســـبب في نفوقـــه، بل قد يكون له أيضا دور في إثارة الأحاسيس المريحة عند تعاطي المخدرات، وهذا نذير شؤم أكثر.

وقد تسهم في ذلك أيضا مجموعة من الجينات والبروتينات الأخرى؛ ولكن، كما هو الحال بالنسبة إلى البروتين DeltaFosB، على الباحثين أن يتناولوها بالدراسة بدقة وحذر. فهناك مثلا الجـــين *5-HTT* – الذي كان يُظن في مرحلة ســـابقة أنه جين رئيســـي من جينات القدرة على استعادة التوازن والحيوية –

مدعمات القدرة على استعادة التوازن والحيوية

خَفْضُ حدة نظام الإنذار في المخ[(*)]

حينمـا يواجــه المخ خطرا، فإنه يبـادر إلى إطلاق شـلال كيميائي يدفع بـك إما إلـى مقاومة هذا الخطر أو الهروب منه. وتبعا، يمكن لسلسلة مـن العناصـر الكيميائية في المـخ أن تهدئ من هذه الاسـتجابة، وبذلك فإنها تحفز القدرة على استعادة التوازن والحيوية في مواجهة الإجهاد الحاد. وتبدأ دورة كيميائية ذات أهمية بارزة حين يطلق الهيبوثالاموس (المهـاد الأدنى) الهرمون المطلق لتروفـين تغذية اللحاء (CRH)[(٤)]، **وهو ما يدفع الغـدة النخامية إلى إفراز** الهرمون أدرينوكورتيكوتروبين (الكظري) (ACTH)[(٥)] **فـي مجـرى الـدم، وهو ما يدفع بـدوره الغـدد الأدرينالينية (الكظرية) (بجـوار الكليتـين) لكـي تفرز هرمـون الكورتيـزول. ويؤدي الكورتيـزول إلى النهوض بقدرة الجسـم على مواجهـة التحديات، لكن قدرا زائـدا منـه قد يؤدي، مـع مرور الوقـت، إلى إحداث أضـرار دائمة بالجسم. وهناك سلاسل من العناصر الكيميائية التي تساعد المرء على السيطرة على زمام الأمور (اثنان من هذه العناصر معروضان في الشكل أدنـاه)، وهي التي تهدئ من الاسـتجابة للإجهـاد الحـاد. ومن الممكن أن تقوم العقاقير أو العلاج النفسي بالتحفيز على إنتاج مدعمات مواجهة الإجهاد الحاد هذه.**



يقدم حالة تحذر من الشِـراك والمآزق التي يمكن أن يسببها النظرُ إلـــى الموضوع من وجهة نظر جينيـــة بحتة. فمنذ عقد من الزمن تقريبا أظهر عدد من الدراســـات أن الأفراد الذين لديهم الشـــكل الأطول من هذا الجين بدا أنهم كانوا يقاومون الاكتئاب بنجاح أكبر من هؤلاء الذين لديهم الشـــكل الأقصر مـــن ذلك الجين، وبعبارة أخرى، أنهـــم كانوا أكثر قدرة على

(*) Toning Down the Brain's Alarm System
(١) post-traumatic stress disorder
(٢) molecular switch
(٣) nobly
(٤) corticotropin - releasing hormone
(٥) adrenocorticotropin hormone



لقد اختبر إعصار كاترينا قدرة سكان نيوأورليانز على استعادة التوازن والحيوية.

استعادة التوازن والحيوية.

وقد احتل هذا الجين عناوين الأخبار حين أشارت مقالة نُشرت في مجلة نيويورك تايمز عام 2006 إلى التوصل الوشيك إلى اختبار تجاري يحدد مدى إسهام الجين *5-HTT* في استعادة التوازن والحيوية. ولكن سرعان ما أخذ هذا التفاؤل المبكر يخبو ليتحول إلى تشوش وارتباك (وهذا نمط شائع في الدراسات التي تدَّعي القدرة على ربط نوع من السلوك المعقد بجين منفرد). وحديثا وجدت اثنتان مما تُسمى «**ما بعد تحليلات الدراسات**» meta-analyses of studies، أن الأدلة المتوفرة لم تؤيد وجود ارتباط بين جين يختلف جزئيا عن الجين *5-HTT* والاكتئاب الناجم عن الضغوط المجهدة للحياة. وهناك دراسة أخرى من ذلك النوع تبين أن هناك ارتباطا. وهكذا، لو حدث أن كان هناك ارتباط بين ذلك الجين والقدرة على استعادة التوازن والحيوية، فمن المرجح أن يكون هذا الارتباط ضعيفا. وفي نهاية المطاف، يمكن للبيولوجيا النفسية حول القدرة على استعادة التوازن والحيوية، أن تؤدي إلى إنتاج عقاقير جديدة وإلى مناهج محددة من أجل تقييم مدى تكيفنا مع توترات الحياة المجهدة. أما في الوقت الحالي، فإن الإدراك العميق المباشر الذي يؤدي إلى فهم الذات القادرة على استعادة التوازن والحيوية لن يأتي من دراسة جين أو آخر أو **مُستقبِلٍ** receptor ما في الخلايا، وإنما بالأحرى من القيام بالمقابلات وجها لوجه على الطريقة التقليدية مع هؤلاء الذين مروا بأزمات شخصية مهمة.

مواجهة سيئة للمشكلات(*)

لقد تراكمت لدى علماء دراسة السلوك البشري عقود من البيانات الخاصة ببالغين وبأطفال تعرضوا لصدمات. وقد كرس <G .A>. بونانُّو> [من كلية المعلمين في جامعة كولومبيا] حياته العلمية كلها كسيكولوجي من أجل تجميع شواهد حول تنوعات تجربة استعادة التوازن والحيوية بعد الصدمات، مع تركيز خاص على ردود أفعالنا لدى وفاة شخص عزيز علينا، وعلى ما يحدث في مواجهة الحرب والإرهاب والمرض. وما توصل إليه هو أنه في جميع الحالات التي جمع شواهدها يستطيع معظم الناس، وعلى نحو مثير للدهشة، أن يتكيفوا تكيفا مُرضيا مع ما يضعه العالَم أمامهم؛ وتعود الحياة إلى حالتها السوية خلال بضعة أشهر. وينتشر موضوع أبحاثه في أرجاء مكتبه في مبنى قديم من مباني جامعة كولومبيا. وعلى الباب الداخلي للمكتب، ألصق <بونانُّو> قصاصة من جريدة يومية ألمانية عرضت نبذة عن حياته تحت عنوان: «**الأسوأ قد يحدث**، هكذا يقول <بونانُّو>[1].»

(*) COPING UGLY
(1) S**t Happens

كانت بداية أبحاث «بونانُّو» تدور حول كيفية الاستجابة الوجدانية لفجيعة فَقْد عزيز وغير ذلك من فواجع الأحداث، وذلك في أوائل التسعينات، حين كان يدرِّس في جامعة كاليفورنيا، بسان فرانسيسكو. وكان السائد المتفق عليه آنذاك هو الرأي القائل: إن فقد صديق أو قريب عزيز يترك نُدَبًا وجدانية لا ينمحي أثرها، بحيث إن الشخص المفجوع يحتاج إلى علاج للتخلص من آثار فاجعته على طريقة «فرويد»، أو إلى منشط مماثل من أجل أن يعود المفجوع إلى سابق عهده. وقد أقبل «بونانُّو» وزملاؤه على النظر في الأمر بأذهان منفتحة. ومع ذلك، ومرارا وتكرارا لم يعثروا في تجاربهم على أثر لجروح نفسية؛ مما أدى بهم إلى توقع كون القدرة النفسية على استعادة التوازن والحيوية ظاهرة منتشرة، وهي أيضا ليست مجرد حدث نادر يظهر عند أفراد حَبَتْهم الطبيعة بجينات ملائمة طيبة أو بأبوين موهوبين. وهذه **البصيرة**[1] أدت بهم أيضا إلى التوقع المقلق، وهو أن آخر أيام الأسى قد ينجم عنها في نهاية المطاف آثار ضارة أكثر من نافعة.

وفي أحد الأمثلة على موضوعات أبحاثه، قام «بونانُّو» مع زميله «D. كلتنر»، بتحليل تعبيرات الوجه لدى أناس فقدوا منذ فترة قريبة أحد أحبائهم. ولم تحمل تسجيلات القيديو أية إشارة إلى وجود حزن دائم يكون بحاجة إلى الاقتلاع. وعلى نحو ما كان متوقعا، فإن مشاهد القيديو كشفت عن وجود أسى ولكن معه أيضا غضب وسعادة. وظهر مرة بعد أخرى أن تعبيرات الشخص الذي أصيب بفاجعة يمكن أن تتبدل من كآبة إلى ضحك، وبالعكس.

لكن، هل كانت القهقهات حقيقية خالصة؟ هكذا تساءل الباحثون، فقاموا بعرض بطيء لشرائط القيديو، باحثين عن انقباض عضلات الإبصار الدائرية حول العينين، وهي الحركات المعروفة باسم تعبيرات **دُوشِنّ** Duchenne، والتي تثبت أن الضحكات هي حقا على النحو نفسه الذي تبدو عليه، وليست مجرد اصطناع من جانب شخص مهذب يضحك نصف ضحكة، إلا أنها ليست خالصة، وقد تبين في المقابل، أن ضحكات **الحِداديين**[2] mourners خالصة (غير مصطنعة). وقد تكرر ظهور التأرجح نفسه ما بين الأسى والانشراح من دراسة بعد أخرى.

ما معنى هذا؟ إن «بونانُّو» يرى تخمينا أن **شدة الغمّ** melancholy تساعدنا على الشفاء بعد التعرض لفقد عزيز، في حين أن الشعور بالأسى العنيف الذي لا ينقطع، شأنه شأن الاكتئاب الإكلينيكي، هو أعظم بكثير مما يمكن تحمله، حيث يغمر الحِدادي (المفجوع) غمرا شديدا. وهكذا، فإن شبكة الأعصاب في رؤوسنا تحول دون أن ينغرز معظمنا في حالة نفسية لا يجدي معها عزاء ولا مواساة. وإذا أصبحت مشاعرنا الوجدانية إما ساخنة أو باردة كثيرا، فإن نوعا من جهاز الاستشعار الباطني - ولنسمه **جهاز تنظيم القدرة على استعادة التوازن والحيوية**[3] - يعيدنا إلى حال التوازن الاعتدالي.

وبعد ذلك، يوسِّع «بونانُّو» أبحاثه إلى ما وراء **الفجيعة**[4]. ففي الجامعة الكاثوليكية ومن بعد ذلك في جامعة كولومبيا، أجرى مقابلات مع الناجين من إيذاءات جنسية، ومع سكان من نيويورك عانوا هجوم 9/11 على مدينتهم، ومع مقيمين في هونگ كونگ عاشوا فيها فترة الوباء SARS. وحيثما اتجه «بونانُّو» بنظره، كانت النتيجة واحدة: «معظم هؤلاء الناس بدا أنهم يواجهون أزماتهم على نحو رائع.»

وبرز نمط معهود: ففي الفترة التالية مباشرة على الوفاة أو المرض أو الكارثة، لوحظ أن ما بين الثلث إلى الثلثين، ممن شملتهم الاختبارات، يعانون قليلا، أو لا شيء، أعراضا يمكن تصنيفها تحت اسم «**صدمة**»[5] trauma من قبيل: صعوبات النوم، تنبه مفرط، ارتجاعات متكررة لذكرى، إلى غير ذلك من الأعراض. وخلال ستة أشهر يهبط عدد من تستمر تلك الأعراض على الظهور عندهم إلى أقل من 10%.

ومع ذلك، إذا كان معظم هؤلاء الناس لم يتعرضوا لضرر دائم، فما الذي كانوا يشعرون به؟ وهل تخلصوا من الأزمة بسلام؟ وقد كان من الصعب على الباحثين أن يعرفوا الإجابة عن هذه الأسئلة. ولكن إدخال ظاهرة اضطراب إجهاد ما بعد الصدمة إلى «***مدونة التشخيص والإحصاء للاضطرابات الذهنية***»[6]، في عام 1980، أدى إلى تضييق منظور علماء النفس. فالإطار الذي اعتمدته مدونة التشخيص تلك كان ينحو إلى دفع الباحثين إلى أن تقتصر دراستهم على المجموعات التي تتوفر فيها سمات التصنيف الصارم الذي عرضته تلك المدونة، بشأن الاضطراب PTSD. وصار التحديد الجديد للصدمة يعني أن هؤلاء المرضى الذين تظهر عليهم أعراض الإجهاد الحاد يمكن إدخالهم في ذلك النطاق التشخيصي، حتى وإن أدى ذلك في نهاية المطاف إلى إحداث بعض الإرباك والتشويش.

وقد شرع «بونانُّو» في فحص مشاعر هؤلاء الذين لم يسعوا إلى طلب عون سيكولوجي. ومن المعروف عموما أن الأشخاص المفحوصين في أبحاث العلوم الاجتماعية يظهر

(١) insight
(٢) ج: حِدادي: شخص في حالة حِداد أو: شخص مفجوع.
(٣) resilience-state
(٤) bereavement
(٥) أو: حالة نفسانية مَرَضية.
(٦) Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders

عندهم تشويه وتحريف لذكرياتهم عن الأحداث الماضية، وذلك عندما يقومون بملء بيانات الاستبيان: حين تأخذ العوالم التي كانوا يعيشون فيها في التضعضع والانهيار، فربما يغالون في تقدير كيف أن أمورهم كانت سيئة، أو يتذكرونها باعتبار أنها كانت مفجعة على مستوى عالٍ جدا. ومن أجل اتخاذ إجراء يعادل هذا الاتجاه، فإن ‹بونانُّو› بدأ القيام بما يسمى **الدراسات الاستشرافية**[1] التي تمكنه من أن يتابع مسبقا مجموعات من أفراد ذوي أعمار متنوعة، وذلك قبل أن يتوفى بعضهم، وهي آلية ساعدت على استبعاد ما يسميه السيكولوجيون **انحرافات التذكر**[2]. وقد شرع أيضا في استخدام آلية إحصائية عالية البراعة، وهي **نمذجة خليط النمو الكامن** latent growth mixture modeling، التي أعانته على أن يحدد على نحو أكثر دقة من السابق النمط الخاص للآثار التي يشعر بها الناس بعد مرورهم في حالة الصدمة.

وكمثل الدراسات السابقة حول الضحك، فإن هذه الدراسات الأكثر دقة وتحديدا، في تناولها لعمليات الشعور بآثار فَقْد الوالدين والأبناء الأعزاء، تلقت هي الأخرى استجابات من أطياف واسعة التنوع، وهي استجابات لم تدخل تماما في خانات التصنيف المستخدمة لتسمية ما هو تكيف صحي. واختلاط الأمر كله بعضه مع بعض أدى إلى أن يسرع ‹بونانُّو› بتسمية الاستجابات الأقل في اتفاقها مع النمط الكلاسيكي بأنها «**المواجهة السيئة مع المشكلات**[3]». وقد اتجه بعض الناس نحو الانغمار في «انحراف تعزيز الذات» – إدراكات متضخمة لما كانوا عليه وكيف كان تصرفهم، سلوك يقترب، في ظل ظروف أخرى، من **النرجسية**[4]. وفيما يخص الحِدادي (المفجوع)، فإن هذه التحريفات الضئيلة قد تساعده على تجنب **اجترار الأفكار**[5]: «هل كان بإمكاني عمل شيء مختلف يحول دون حدوث ما حدث؟»

لكن تشجيع الذات والإعلاء من شأنها لم يكن هو الطريقة الوحيدة. فبعض الأشخاص قاموا بقمع الأفكار والمشاعر السلبية، في حين توصل غيرهم إلى إقناع أنفسهم بأنهم قادرون على التعامل مع كل ما يعترض طريقهم. هناك أيضا هؤلاء الذين اعتادوا أن يضحكوا وأن يبتسموا طوال الوقت ومهما تكن الظروف، ومع ذلك فإن كثيرا من علماء النفس قد يعتبرون ذلك شكلا غير صحي للإنكار أو التنصل. لقد وجد ‹بونانُّو› أن المواجهة السيئة للمشكلات لم تساعد فقط **المفجوعين بفقد شخص عزيز**[6]، وإنما أيضا ساعدت المدنيين البوسنيين في سارايڤو عقب الصراع في البلقان، وكذلك من شهدوا هجوم 9/11 على برجي المركز العالمي للتجارة. لقد كان هؤلاء الناس مماثلين لـ ‹F. جونسون›، الذي واجه على طريقته عواقب إعصار كاترينا.

لقد كانت استجابة ‹جونسون›، البالغ من العمر 57 عاما والذي عاش طوال حياته في نيوأورليانز، لآثار إعصار كاترينا هي أن يشارك في مساعدة فرق الإنقاذ بعد انتهاء الإعصار في منطقة سوبردوم. لقد كان منظر الخطوط المتعرجة من البشر، الممتدة من الأستاد الرياضي إلى مواقف السيارات العامة المغادرة للمدينة، منظرا مزعجا. وبلغ من ذهول بعض الآباء، وهم يخرجون ببطء من الأستاد، أنهم كانوا يحاولون تسليم أطفالهم الصغار إلى المنقذين، في حين تمرغ آخرون بالطين. لقد ارتاع ‹جونسون› وهو يشاهد المنظر لأول مرة، وسرعان ما فقد السيطرة على نفسه؛ وانحرف بعيدا عن باب دخول المبنى الضخم، وانفجر في البكاء. لقد كان الأمر أكبر بكثير من أن يستطيع تحمله. ولكنه بعد دقائق قليلة توقف، ووجد أن ما كان يسميه «**حاكمه**[7]» ها هو ذا يظهر أمامه فجأة. ويقول ‹جونسون› موضحا: «حينما تقهرني الملمات وأجد نفسي منسحقا أمامها، أفكر أن ليس أمامي غير أن أعمل ما يلي: أبكي أمامها، ثم أجفف دموعي، وبعدها أعود من جديد إلى سابق أشغالي؛ لكنني لن أظل أبكي وأبكي وأبكي، إنني أظن أن هذا هو «حاكمي». وبهذه الطريقة أُبقي على صحتي النفسية».

لقد حاز عمل ‹بونانُّو› هتاف الاستحسان، لكن بعض العلماء لا يزالون غير مقتنعين بأن القدرة على استعادة التوازن والحيوية هي أمر فطري على نحو ما توحي به الدراسات التي قام بها. فمن رأي بعض زملائه أنه يقدم تعريفا واسعا بأكثر مما ينبغي لذلك المصطلح. وفي هذا الصدد، فإن ‹بونانُّو› يعترف بأن وقوع محن للمرء وهو لا يزال في طفولته يمكن أن يؤدي إلى عواقب تدوم أمدا طويلا أكثر من كونها مجرد مشاعر عارضة أو سريعة الزوال، على نحو تلك التي تظهر عقب حدوث وفاة في العائلة أو كارثة طبيعية. ومع ذلك، فإنه لا يزال يرى أن ردود أفعال معظم البالغين، إن أمام فقدهم لعملهم مثلا أو أمام ضربات الموج العارم الذي يعقب الزلزال، تُظهر أن المقدرة على استعادة القدرة على التوازن والحيوية من جديد تبقى هي الأمر الاعتيادي في خلال حياة الشخص البالغ.

---

(١) prospective studies
(٢) recall bias
(٣) coping ugly أو اضطلاع سيئ.
(٤) narcissism أو الافتتان بالنفس.
(٥) rumination
(٦) bereaved
(٧) governor

كن ما تستطيع أن تكون[*]

إذا كانت القدرة على استعادة التوازن والحيوية هي الإمكان القائم لنا جميعا من الناحية العملية، لكن ماذا عن هؤلاء العشرة في المئة أو نحو ذلك، الذين سيفشلون في النهوض من كبوتهم، وبدلا من ذلك فإنهم ينغــرزون في حمأة القلق والكآبة؟ هل من الممكن أن يُدَربوا على التحمُّل أمام الأزمات على نحو أفضل؟ إن الاختصاصيين في هذه القضية لم يتوصلوا بعد إلى قرار حولها، ولكن الأدلة المعروضة تدعو إلى الحيطة والحذر. فغالبا ما حدث أن قام الاختصاصيون النفســيون والمساعدون الاجتماعيون، الذين يزورون موقع وقوع كارثة معينة، باســتخدام آلية تسمى الاستجواب النقدي لضحايا الأحداث المثيرة للإجهاد النفسي الحاد. ويُطلب في هذا الاســتجواب إلى أفراد أو إلى مجموعة أن يتحدثــوا عن تجربتهم، وذلك حتى يحرروا أنفســهم، على طريقة التخلص من ســيئ المشاعر، من أعراض الصدمة التي تكون قد بدأت بالظهور. وهكذا، فقد تعرض لعملية الاستجواب هذه، ضحايا حادثة إطلاق النار في مدرسة كولومباين الثانوية، وكذلك ضحايا تفجير القنابل في أوكلاهوما سيتي.

إلا أن دراســات عديدة، أجريت خلال أكثر من 15 عاما، أظهرت أن هذه الآلية ليســت ذات فعالية، وأنها قد تؤدي إلى إحداث أضرار. فيحدث أحيانا أن يكون أحد المشــاركين في جلســات المجموعة في حالة إنهاك تام، فيصيب الآخرين في المجموعة بعدوى الذعر الشــديد، وهو مــا يجعل الأمر يتجه إلى الأســوأ عند غالبية المشاركين. وبعد كارثة تسونامي في المحيط الهندي فــي عام 2004، حذرت منظمة الصحة العالمية من آلية الاســتجواب هذه، لأنها ربما تؤدي إلى ازدياد شعور بعض الضحايا بالاضطراب. وهكذا، فإن الاستجوابات تثير علامات اســتفهام حول محاولات أحدث زمنيا تستهدف بث القدرة على اســتعادة التوازن والحيوية بالاعتماد على حشد أدوات **من مجمع أسلحة علم النفس الإيجابي**[1].

لقد ظهرت حركة علم النفس الإيجابي إلى العلن رســميا في إعلان طرحه في عام 1998، ‹M. E. P.› ســلگمان› [الأستاذ في جامعة بنســلڤانيا] حين دافع عن الرأي القائل إن **المرض العقلي**[2] ينبغي ألاّ يكون موضع الاهتمام الوحيد لتخصصه، وذلك في الاجتماع السنوي للجمعية السيكولوجية الأمريكية لذلك العــام. وقد انتهى ‹ســلگمان› إلى فكــرة علم النفس الإيجابي بعد اكتشافه أن الكلاب تدخل في حالة من الخضوع المذل، وهو ما ســماه «الشــعور بالعجز المكتسب»، وذلك إثر تعرضها لصدمات كهربائية، حيث اســتوحى ‹سلگمان› من نتائج ذلك البحث أنه يمكن استكشاف إمكان أن يقوم التدخل الجراحي بإحداث أثر مضاد لما ظهر عند الكلاب: التشــجيع على التفاؤل، والإحســاس بالصحة والسعادة، ولم لا أيضا، القدرة على استعادة المرونة والحيوية لدى المرضى.

وقد كان لـ ‹سلگمان› دور مهم في عملية إطلاق «**برنامج «پــن» للقــدرة علــى اســتعادة التــوازن والحيويــة**» Penn Resiliency Program، قبل عقدين من الزمن، وهو برنامج أثبت جدارته، وبخاصة بين فئة الصبيان ممن هم في عمر المدرسة. وانطلاقا من نظريات الاكتئاب، فإن التدريب يتضمن استخدام أســاليب من قبيل إعادة التشــكيل العقلي، التي يســتعملها علماء علم النفس الإدراكي والسلوكي من أجل دفع المعالَجين نحــو إعادة النظر في أفكارهم في ضــوء أكثر إيجابية. وقد أظهر تقييم للبرنامج - من خلال، على الأقل، إحدى وعشرين دراسة مُحْكَمة أُجريت على 2400 طفل تتراوح أعمارهم ما بين الثامنة والخامسة عشرة - نجاحه في منع الاكتئاب والقلق.

وفي الوقت الحالي، يقوم الجيش الأمريكي بتطبيق أساليب شبيهة بذلك على أكثر من مليون جندي وعائلاتهم، وهو المشروع الذي يقول عنه إنه أشــبه أن يكون: «أكبر تدخل ســيكولوجي قصدي» جرت محاولته على الإطلاق. وهذا المشــروع - الذي تبلــغ ميزانيته 125 مليونــا من الدولارات علــى مدى خمس ســنوات - قد دفــع 800 000 جندي إلى العمــل عبر الإنترنت مع «أداة التقويم الشامل»، وهي اختبار سيكولوجي يقيس بين عوامل أخرى، حسن الحال روحيا وعاطفيا، كما أنهم يلتحقون بدورات تدريبية لرفع مستوى «اللياقة» في نواح متنوعة من القدرة الوجدانية على اســتعادة التوازن والحيوية. ويأتي شهريا إلى جامعة بنســلڤانيا مئة وخمسون جنديا ليتعلموا كيف يُدَرِّسون **القــدرة على اســتعادة التــوازن والحيويــة**[3] إلى غيرهم من أفراد الجيش. ويتنبأ ‹سلگمان› بأن البيانات المتجمعة من هذه البرامج ســوف تتحول، في نهاية المطاف، إلــى قاعدة بيانات هائلة للإحصاءات المتصلة بعلم النفس وبالصحة، وسوف ينهل الباحثــون المدنيون منها من أجل إجــراء أبحاثهم حول القدرة على استعادة التوازن والحيوية. ويقول ‹سلگمان›: «بهذا يصل العلم إلى مستوى لم يبلغه علم النفس قط من قبل».

لقد انطلق البرنامــج انطلاقة مندفعة، ذلك أن رئيس هيئة أركان الجيش الأمريكي ‹W. كوســي› كان متلهفا إلى تقديم العون للجنود العاديين من ضباط الصف والجنود الذين وقع عليهم تنفيذ إعادة الانتشار عدة مرات في عدد من المواقع.

(*) BE ALL THAT YOU CAN BE
(1) the armamentarium of positive psychology
(2) mental illness
(3) resiliency

التتمة في الصفحة 49

الفوضى المُنظَّمة للبروتينات[*]

لكي تقوم البروتينات بسحرها داخل الخلايا، يجب عليها أن تنطوي أولا لتأخذ أشكالا صلبة، أو هكذا تقول الحكمة التقليدية. إلّا أن هناك قصة أكثر تعقيدا قد بدأت لتوها بالظهور.

<A. K. دانكر> – <R. كريواكي>

البروتينات هي المادة الخام للحياة، فهي عيون وأذرع وأرجل الخلايا الحية. فحتى **الدنا** DNA (أكثر الجزيئات **أيقونية** iconic ما بين كافة الجزيئات) إنما تنبع أهميته أولا، وقبل كل شيء، من احتوائه على الجينات التي تحدد بنية البروتينات. وإلى حد بعيد، يعود اختلاف خلايا أجسادنا بعضها عن بعض – وهي تعمل كعصبونات أو خلايا دم بيضاء أو خلايا حسية شمية وغير ذلك – إلى كونها تُفَعِّل مجموعات مختلفة من الجينات منتجة بذلك خلائط مختلفة من البروتينات.

وانطلاقا من أهمية هذه الجزيئات، فإن أول ما يتبادر إلى الذهن هو أن البيولوجيين قد كوّنوا ومنذ أمد بعيد، صورة أساسية لشكل هذه البروتينات ولطريقة عملها. ومع ذلك ولعقود كثيرة، تبنى العلماء صورة كانت غير مكتملة. إنهم وإن كانوا يعلمون تماما بأن البروتينات تتألف من أحماض أمينية يتصل بعضها ببعض مثل حبات الخرز المنضدة على خيط، إلا أنهم كانوا على ثقة بأنه على سلسلة الأحماض الأمينية المشكلة للبروتين أن تنطوي أولا على شكل صلب ذي بنية محددة بدقة، كي يكون قادرا على القيام بوظيفته. إلا أنه قد أصبح من الواضح الآن أن ثمة مجموعة من البروتينات التي تقوم بوظائفها الحيوية دون أن تنطوي بشكل كامل أبدا، في حين أن بعضها الآخر ينطوي بقدر الحاجة فقط.

وفي الواقع، إن ثلث عدد البروتينات البشرية **غير منتظم فعليا**[1] إذ يحوي على الأقل بعض الأجزاء **غير المنطوية أو غير المنتظمة**[2].

عرف علماء البيولوجيا، بلا شك، ولأمد غير قصير بأن الإنزيمات مثل البوليميريزات التي تقوم باستنساخ الدنا لإنتاج **الرنا** RNA هي في الحقيقة **آلات نانوية معقدة**[3] تتألف من عدد من الأجزاء المتحركة والمرتبطة معا بواسطة مفصلات مما يسمح للأجزاء المختلفة من البروتينات بالالتفاف بعضها حول بعض. إلا أن تلك البروتينات كانت تصور على أنها مجاميع من الأجزاء غير المرنة بما يشبه أجزاء الكرسي القابل للانطواء. أما البروتينات المضطربة جوهريا فيمكن تشبيهها بالسباغيتي[4] المطبوخة جزئيا والتي تتقلب باستمرار داخل وعاء الماء المغلي.

وقبل خمسة عشر عاما كان مثل هذا التأكيد يُنظر إليه كهرطقة. واليوم يدرك العلماء أن هذه الخصائص من عدم الانتظام والمرونة ربما تكون قد أسهمت في نشوء الحياة على الأرض، وأن تلك المرونة ما زالت تسهم في القيام

(*) THE ORDERLY CHAOS OF PROTEINS أو الشواش المُنظَّم للبروتينات.
(1) intrinsically disordered
(2) disordered
(3) complicated nanomachines أو آلات نانوية معقدة.
(4) معكرونة طويلة ورفيعة الأعواد.
(5) folding

باختصار

وفقا للحكمة التقليدية فإنه يتعين على البروتينات أن تنطوي متخذة **أشكالا صلبة** rigid shapes بغية أن تقوم بوظائفها كالارتباط بجزيئات مستهدفة بعينها، ولكن الأبحاث الحديثة تشير إلى أن ثلث الأنماط البروتينية الموجودة في البشر يكون غير منظم كليا أو جزئيا.

ومع أن عدم **انطواء**[5] البروتين كان يعتبر ومنذ زمن بعيد حالة مرضية، إلا أنه لا يعيق بالضرورة الأداء الوظيفي، ولكنه في الواقع غالبا ما يكون وصفا أساسيا لعمل البروتين.

وربما تكون البروتينات غير المنظمة قد أدت دورا مهما أثناء التطور وأن فهما أفضل لحقيقة طبيعتها قد يقودنا أيضا إلى تصميم أدوية مبتكرة.

المؤلفان



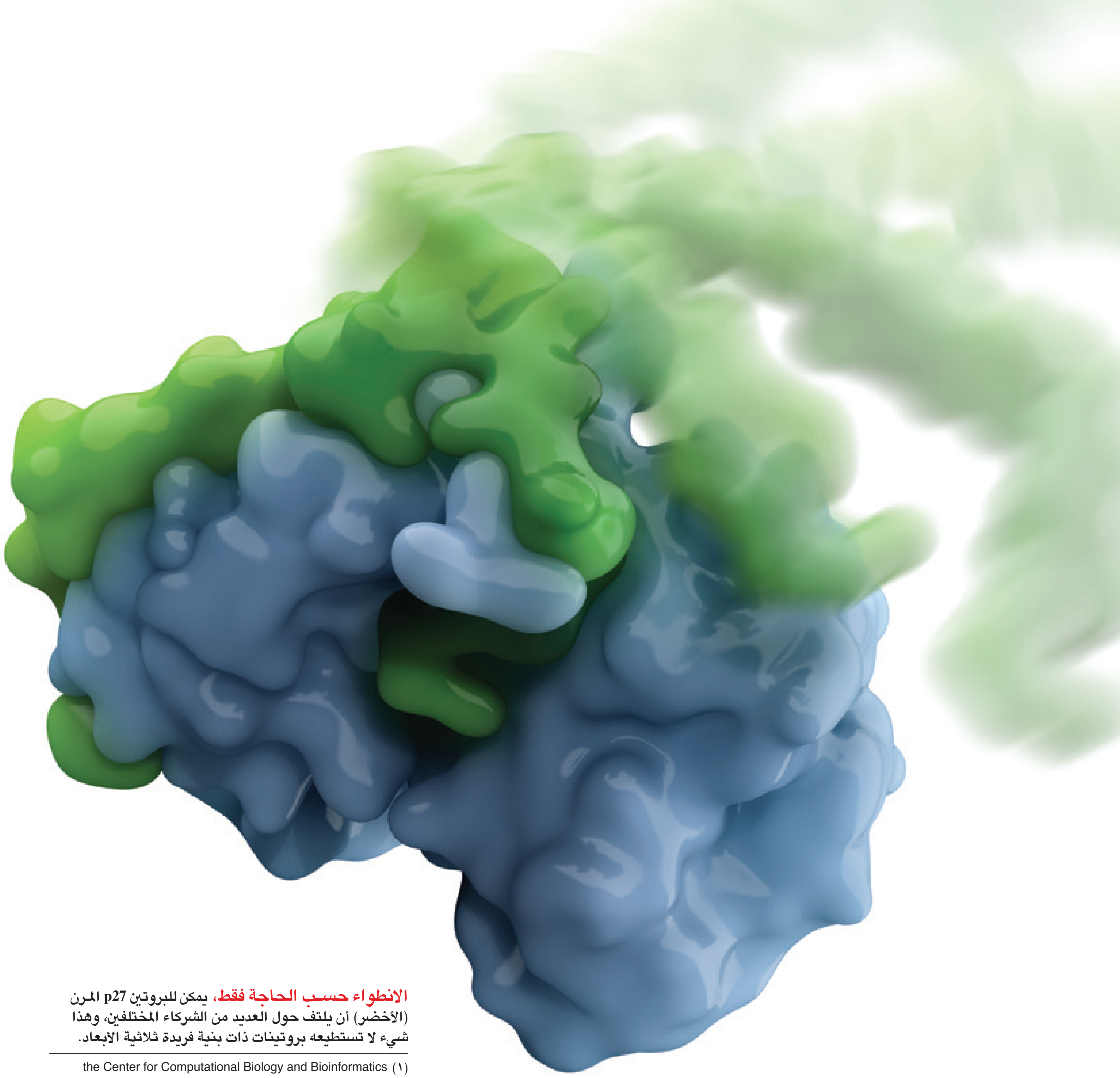
A. Keith Dunker

هو عالم فيزياء بيولوجية في كلية الطب بجامعة إنديانا حيث يدير مركز **البيولوجيا الحاسوبية والمعلومات البيولوجية**[1]. لقد درس الڤيروسات لمدة 30 عاما قبل أن ينهمك بدراسة البروتينات المضطربة ذاتيا في عام 1995.



Richard W. Kriwacki

هو **عالم بيولوجيا بنيوية** structural biologist في مستشفى سانت جود البحثي للأطفال في ممفيس. وفي عام 1996، عندما كان يعمل في معهد سكريبس للأبحاث في لاهولا بكاليفورنيا، اكتشف مع آخرين أحد النماذج الأولى لبروتين مرن الهيئة حقا.

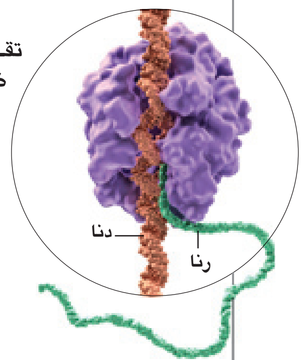


الانطواء حسب الحاجة فقط، يمكن للبروتين p27 المرن (الأخضر) أن يلتف حول العديد من الشركاء المختلفين، وهذا شيء لا تستطيعه بروتينات ذات بنية فريدة ثلاثية الأبعاد.

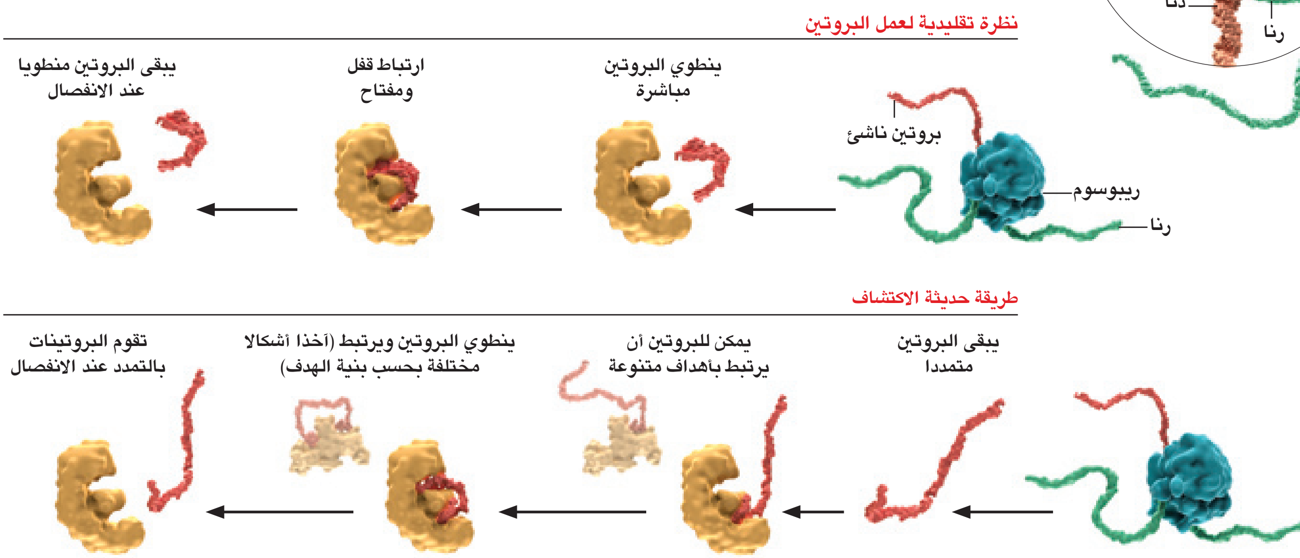
(1) the Center for Computational Biology and Bioinformatics

نظرة أكثر شمولية للبروتينات

الترتيب مقابل الاضطراب(*)



تقوم الآليات الجزيئية في الخلية بنسخ المعلومات المكودة ضمن تسلسلات الدنا – الجينات – إلى رنا وتترجم الرنا لتعطي سلاسل طويلة من الأحماض الأمينية التي تشكل البروتينات. وتنص كتب البيولوجيا أنه يجب على البروتين حينذاك أن ينطوي ليعطي شكلا فريدا (*الصف العلوي*) وذلك كي يقوم بوظيفته بشكل صحيح، فمثلا، أن يرتبط بجزيء محدد كملاءمة المفتاح للقفل، إلا أن العديد من البروتينات مع ذلك تبقى غير منطوية جزئيا على الأقل، وهذه المرونة تمكنها من الارتباط بجزيئات متنوعة (الصف السفلي) أو من القيام بمهام أخرى (*انظر المؤطر في الصفحة 26*).



بأدوار أساسية في الخلية، على سبيل المثال، أثناء الانقسام الخلوي والتفعيل الجيني. وهذا الفهم الجديد يعرض ما هو أكثر من مجرد إدراك جديد مذهل في فهم البيولوجيا الأساسية للخلية. ومن المدهش بالقدر نفسه، أنه يدل على سبل جديدة لمعالجة الأمراض بما فيها السرطان.

تطابقات تامة(**)

في عام 1894 ظهرت الفكرة العامة بأن البنية الصلبة الثلاثية الأبعاد للبروتين هي ما تحدد وظيفته. اقترح <E. فيشر> [وهو كيميائي من جامعة برلين] بأن الإنزيمات (**محفزات**(1) التفاعلات الحيوية) تتفاعل مع الجزيئات الأخرى بالارتباط بأشكال محددة على سطحها الخارجي؛ في حين تتجاهل الإنزيمات كلية الجزيئات التي تختلف بمظاهرها السطحية ولو اختلافا ضئيلا. وبعبارة أخرى، يجب على الإنزيم أن يتطابق تماما مع قرينه بما يشبه القفل والمفتاح.

لم تكن طبيعة البروتينات معروفة تماما حين صاغ <فيشر> نموذجه. وعلى امتداد الستين عاما التالية توصل البيولوجيون إلى معرفة أن البروتينات هي عبارة عن سلاسل من الأحماض الأمينية، واستنتجوا بأن على هذه السلاسل أن تنطوي بشكل محدد ودقيق كي تعمل بشكل صحيح. وفي عام 1931 قدّم عالم الكيمياء الحيوية الصيني <H. وو> دعما قويا لوجهة النظر تلك، مبينا أن **تغير طبيعة**(2) البروتين أو فقدان البنية الثلاثية الأبعاد الطبيعية، قد أدى إلى فقدانه لكامل وظيفته. ومنذ ذلك الحين، وبدءا بالبنية الثلاثية الأبعاد **للميوگلوبين** myoglobin في الحيوانات المنوية لحوت، قام الباحثون في عام 1958 بتحديد بنية أكثر من 50 000 نوع من البروتين، وكان ذلك عادة ما يتم بتحويلها برفق إلى بلّورات ومن ثم بعكس أشعة X من على هذه البلورات.

ومع ذلك، فإن الأمور لم تكن ثابتة في عالم البروتين ذي نظام القفل والمفتاح المنظم هذا. فحتى بدايات عام 1900 كان العلماء يعلمون بوجود العديد من الأضداد (**الأجسام المضادة**) antibodies التي يمكنها الارتباط بعدد من **المستضدات** antigens أو الأهداف المختلفة، وهي ملاحظة لم تكن لتنسجم تماما مع نموذج القفل والمفتاح. ففي الأربعينات من القرن العشرين، خمن الكيميائي العظيم <L. بولينگ> أنه

(*) Order vs. Disorder
(**) PERFECT MATCHES
(1) catalysts
(2) denaturation أو تمسخ: فقدان الشيء طبيعته الخاصة.

يمكن لبعض الأجسام المضادة أن تنطوي لواحد من عدة أشكال، بحيث يتشكل تركيب كل انطواء بناء على التلاؤم بين الجسم المضاد والمستضد.

منذ أربعينات القرن العشرين تقريبا وحتى الآن أشارت دلائل أخرى إلى أن البروتينات كافة لا تلتزم بتلك النظرة الدوغماتية التي مفادها أن الوظيفة تنبع من البنية الصلبة الثلاثية الأبعاد. ولكن تلك التي لم تكن تتوافق مع ذلك عادة ما كانت تعتبر على أنها حالات فردية واستثناءات غريبة للقاعدة العامة. لقد كان أحدنا (<دانكر>) من بين الباحثين الأوائل الذين جمعوا مثل تلك النماذج الفردية، وقد أبدى ملاحظته على أن النظرة الدوكماتية ذاتها ربما كانت بحاجة إلى تنقيح. وفي عام 1953 على سبيل المثال، لاحظ العلماء أن **الكازين** (بروتين الحليب) casein، كان غير منظّم البنية إلى حد بعيد، وأن مرونته تلك كانت تسهل عملية الهضم لدى رضع الثدييات. وفي أوائل سبعينات القرن العشرين، وجد أن البروتين، الذي يدعى **فيبرينوجين** fibrinogen، كان يحوي منطقة كبيرة نسبيا لم تكن لها بنية ثابتة، ووجد أن هذه المنطقة إضافة إلى مناطقَ أخرى أصغر منها اكتشفت لاحقا، تؤدي دورا أساسيا في عملية تخثر الدم. وفي أواخر السبعينات من القرن العشرين قَدّم البروتين المشكل للغلاف الخارجي **لڤيروس التبغ الموزاييكي** the tobacco mosaic virus مثالا مدهشا آخر. فحين يكون الغلاف الخارجي فارغا يكون لدى البروتين أجزاء كبيرة غير منظمة وتتدلى بحرية داخل فراغ المحفظة. وتلك الحرية تساعد على تعبئة جزيئات **الرنا** RNA - المصنعة حديثا خلال تكاثر الڤيروس ضمن الخلية المصابة - داخل المحفظة. ولكن مع دخول الرنا يرتبط البروتين به متخذا أشكالا صلبة.

وأثناء ذلك افترض أولئك، الذين فشلت تجاربهم في حث بروتينات معينة على الانطواء في أنابيب اختبارهم، بأنهم كانوا يقعون في خطأ ما: فبالتأكيد يمكن لسلاسل الأحماض الأمينية تلك أن تجد شكلا منطويا «صحيحا» في بيئة الخلية. فمثلا، عندما كان الباحثون يقومون بوضع محاليل تحوي بروتينات معزولة في أنابيب معينة ومن ثم تصويرها **بمطياف الرنين المغنطيسي النووي** (NMR)[1] - الأداة الموثوقة في دراسات البروتينات - فإنهم كانوا في بعض الأحيان يحصلون على نتائج غير واضحة، والتي فسروها على أنها تدلُّ على أن البروتينات قد فشلت في الانطواء.

إلا أن هذه النتائج كانت تروي قصة أكثر ثراء. فالتصوير بالرنين المغنطيسي النووي يستخدم نبضات قوية من الترددات الراديوية لتحفيز تزامن دوران نوى ذرات معينة كالهدروجين. والتغيرات الطفيفة في التردد نتيجة لاستجابة النوى ترتبط ارتباطا وثيقا بموضع تلك الذرات ضمن الأحماض الأمينية وكذلك بموضع الأحماض الأمينية نسبة إلى بعضها بعضا. وهكذا يمكن للباحث، وانطلاقا من هذه التغيرات في التردد، أن يرسم في معظم الأحيان صورة كاملة لبُنية بروتين صلب. ولكن في حال كون الأحماض الأمينية تتحرك كثيرا - كما هي الحال في البروتينات غير المنطوية - فإن التغيرات في التردد تولد صورة مهزوزة.

وفي عام 1996، كان أحدنا (<كريواكي>) [وكان آنذاك يعمل في معهد سكريبس للأبحاث[2]] يطبق التصوير بالرنين NMR على بروتين يدعى p21 - له صلة بتنظيم الانقسام الخلوي - عندما لاحظ أمرا مذهلا. فطبقا لنتائج التصوير بالرنين NMR فإن البروتين p21 كان مضطربا بشكل كامل تقريبا. وكانت الأحماض الأمينية تُدَور بحرية حول الروابط الكيميائية التي تجمعها معا، بحيث إنها لا تبقى أبدا على شكل واحد لأكثر من جزء من الثانية. ومع ذلك - وهذا هو الجزء المذهل- فقد كان البروتين p21 لا يزال قادرا على القيام بوظيفته التنظيمية الأساسية. وكان ذلك هو البرهان المقنع الأول الذي بَيّنَ أن عدم وجود بنية لا يجعل البروتين عديم الفائدة.

ويبقى التصوير بالرنين NMR التقانة الرئيسة التي تحدد فيما إذا كان البروتين منطويا أو مضطربا، ومع غيرها من التقانات الأخرى فقد ثبت أن الكثير من البروتينات مضطربة ذاتيا. فهذه الجزيئات تقوم باستمرار بتغيير هيئتها تحت تأثير **الحركة البروانية** Brownian motion وتوتراتها الحرارية الذاتية، وهي مع ذلك تبقى فعالة تماما.

إسباغيتي البروتين(*)

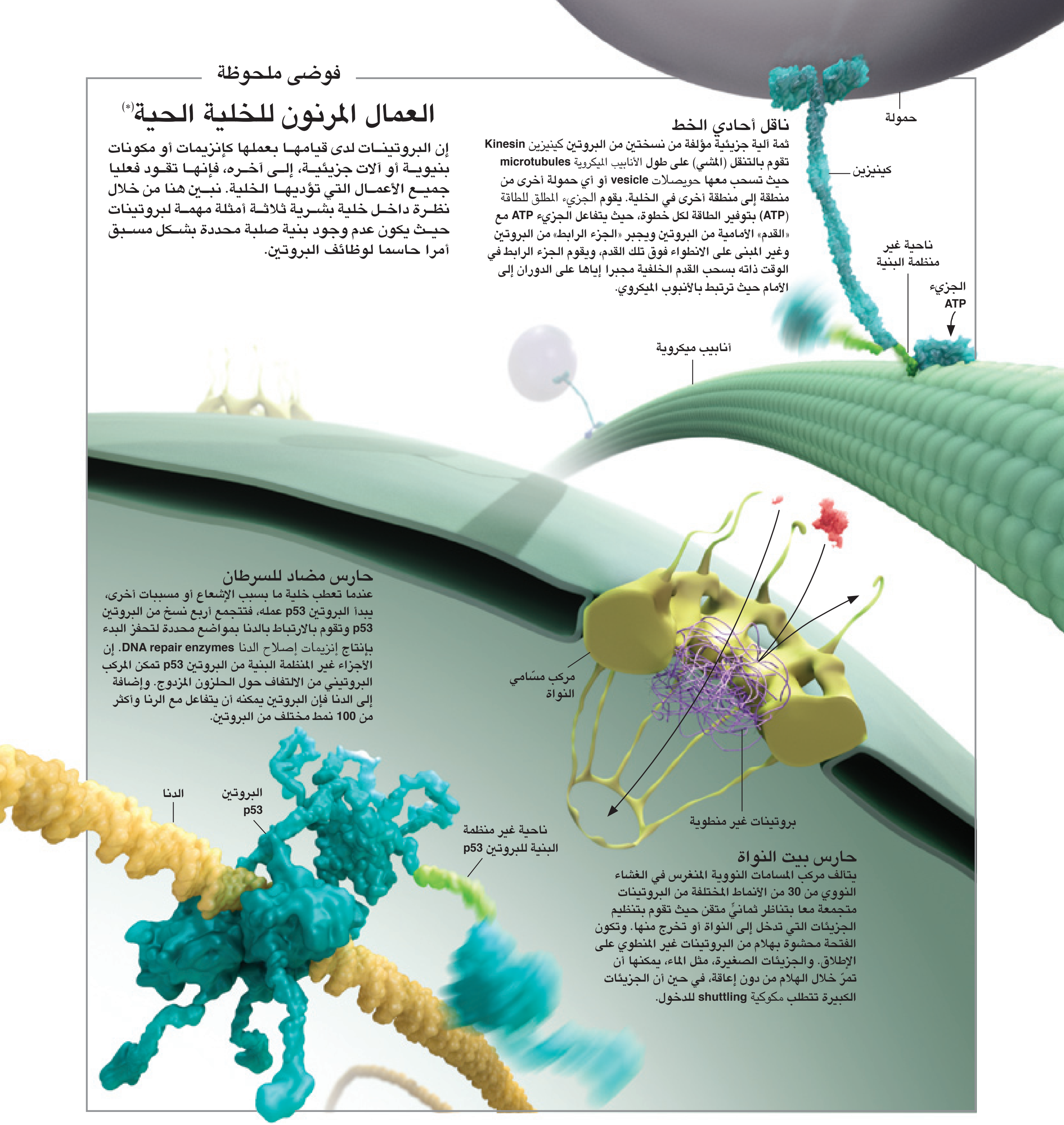
لعل البروتين p27 هو النموذج الأفضل الممثل لهذه النظرة الأكثر شمولية (لاسيما وأنه يوجد في معظم الفقاريات). فكما هو الحال في البروتين p21، فإن البروتين p27 هو واحد من البروتينات المهمة في تنظيم وضبط عملية الانقسام الخلوي بحيث لا تستمر الخلايا بالانقسام من دون تحكم، وتبين نتائج التصوير بالرنين NMR أن البروتين p27 يتمتع بمرونة عالية ويتضمن أجزاء سريعة التبدل تتطوى وتنفرد آخذة أشكالا قصيرة الأجل، تكون لولبية تارة ومنبسطة كورقة تارة أخرى، إن معظم الخلايا السرطانية البشرية تحتوي على كمية أقل من البروتين p27، وكلما ازداد النقص

(*) PROTEIN SPAGHETTI
(١) a nuclear magnetic resonance (NMR) spectrometer
(٢) the Scripps Research Institute

فوضى ملحوظة

العمال المرنون للخلية الحية(*)

إن البروتينات لدى قيامها بعملها كإنزيمات أو مكونات بنيوية أو آلات جزيئية، إلى آخره، فإنها تقود فعليا جميع الأعمال التي تؤديها الخلية. نبين هنا من خلال نظرة داخل خلية بشرية ثلاثة أمثلة مهمة لبروتينات حيث يكون عدم وجود بنية صلبة محددة بشكل مسبق أمرا حاسما لوظائف البروتين.



ناقل أحادي الخط

ثمة آلية جزيئية مؤلفة من نسختين من البروتين كينيزين **Kinesin** تقوم بالتنقل (المشي) على طول الأنابيب الميكروية **microtubules** حيث تسحب معها حويصلات **vesicle** أو أي حمولة أخرى من منطقة إلى منطقة أخرى في الخلية. يقوم الجزيء المطلق للطاقة (**ATP**) بتوفير الطاقة لكل خطوة، حيث يتفاعل الجزيء **ATP** مع «القدم» الأمامية من البروتين ويجبر «الجزء الرابط» من البروتين وغير المبنى على الانطواء فوق تلك القدم، ويقوم الجزء الرابط في الوقت ذاته بسحب القدم الخلفية مجبرا إياها على الدوران إلى الأمام حيث ترتبط بالأنبوب الميكروي.

حارس مضاد للسرطان

عندما تعطب خلية ما بسبب الإشعاع أو مسببات أخرى، يبدأ البروتين **p53** عمله، فتتجمع أربع نسخ من البروتين **p53** وتقوم بالارتباط بالدنا بمواضع محددة لتحفز البدء بإنتاج إنزيمات إصلاح الدنا **DNA repair enzymes**. إن الأجزاء غير المنظمة البنية من البروتين **p53** تمكن المركب البروتيني من الالتفاف حول الحلزون المزدوج. وإضافة إلى الدنا فإن البروتين يمكنه أن يتفاعل مع الرنا وأكثر من **100** نمط مختلف من البروتين.

حارس بيت النواة

يتألف مركب المسامات النووية المنغرس في الغشاء النووي من **30** من الأنماط المختلفة من البروتينات متجمعة معا بتناظر ثمانيٍّ متقن حيث تقوم بتنظيم الجزيئات التي تدخل إلى النواة أو تخرج منها. وتكون الفتحة محشوة بهلام من البروتينات غير المنطوي على الإطلاق. والجزيئات الصغيرة، مثل الماء، يمكنها أن تمرّ خلال الهلام من دون إعاقة، في حين أن الجزيئات الكبيرة تتطلب مكوكية **shuttling** للدخول.

ساءت توقعات الحياة بالنسبة إلى المريض.

تعمل جزيئات البروتين p27 ككابح للانقسام الخلوي وذلك بالارتباط بستة أنماط مختلفة على الأقل من **إنزيمات الكينيز** kinase enzymes وتثبط عملها، فإنزيمات الكينيز هي المنظمات الأساسية لاستنساخ الدنا والانقسام الخلوي. فهي تقوم بإضافة الفوسفات PO_4 إلى البروتينات الأخرى (أي **فسفرتها** phosphorylate)، الأمر الذي يؤدي إلى إطلاق شلّال من الأحداث. فعند قيامها بعملها، يقوم جزيء البروتين p27 الديناميكي ذو الشكل الخيطي بالالتفاف حول إنزيم الكينيز

(*) The living cell's flexible workers

(الذي يكون في الغالب صلبا) مغطيا جزءا كبيرا من سطحه، بمـا في ذلك المواضع المتفاعلة كيميائيا أو «النشــطة» [*انظر الشــكل في الصفحة 23*]. يؤدي هذا إلى منع عملية الفسفرة ومن ثم إلى وقف الانقســام الخلــوي. وبفضل مرونته، يكون بإمكان البروتين p27 أن يقولب نفســه حول أنماط مختلفة من الإنزيمــات ويثبطها. وتوصف مثل تلك البروتينات التي تمتاز بهذه الخاصية على أنها بروتينات **غير مميزة** promiscuous(1) أو تقوم بأعمال إضافية(2).

يقــع البروتين P27، الذي هو تقريبــا غير منظم كلية، بالقرب من الطرف المضطرب لمقياس يمتد من الاضطراب التام (بنية غيــر منظمة كلية) إلى الانتظام الكامل (منطو صلب تماما). بينما تقع إنزيمات الكينيز نفســها بالقرب من النهاية المعاكســة من ذاك المقياس. ويقع العديد من البروتينــات الأخرى في مكان ما من مقياس الرســم ما بين تلــك النهايتين، كونهــا تحمل أجزاء منظمــة البنية وأخرى غير منظمة البنية. **فالكالســينورين** calcineurin الذي يــؤدي دورا مهما فــي الاســتجابة المناعية (وهو ما تســتهدفه الأدوية المضــادة للرفــض المناعي) يقوم بدور معاكــس تماما لإنزيمات الكينيــز: فهو يعمل على نزع الفوســفات من بعض البروتينات التي سبق لها أن فُسْفِرت. يتضمن هذا البروتين في بنيته جزءا منظم البنية وهو ما يشــكل الموضع النشط للإنزيم ويعمل وفق المبدأ الكلاسيكي للقفل والمفتاح لنزع الفوسفات من البروتينات الأخرى. إلا أنه يتضمن أيضا جزءا غير منظم البنية يقوم بالارتباط بالموضع النشط للإنزيم ذاته مثبطا إياه عندما لا يكــون هناك حاجة إلى نزع الفوســفات. وهكذا، فإن الكالســينورين هو كبروتينين في بروتين واحد: إذ يقوم الجزء المنظم البنية بالتحفيز، بينما يقوم الجزء غير المنظم البنية بتنظيم هذه الوظيفة التحفيزية.

إن الأمثلة التي ناقشناها حتى الآن هي لبروتينات تنطوي إما حول ذاتها أو حول بروتينات أخرى لدى قيامها بوظيفتها. غيــر أن الاضطراب هو غالبا ما يكون واحدا من أدوات عمل البروتين. وفي أحد الأمثلة المعروفة فإن طول الجزء غير المنظم البنيــة يعمل كآلة للتوقيــت، إذ يضبط مدى ســرعة اقتراب موضعين فعالين من بعــض: كلما كان طول الجزء غير منظم البنيــة أكبر أدى ذلــك بالموضعين الفعالين إلــى البحث عن بعضهما لمدة أطول مما لو كان الجزء غير المنظم البنية أقصر. وفي حالة أخرى تساعد البنية غير المنظمة بروتينا معينا على التغلغل من خلال فتحات صغيرة في الغشاء الخلوي ومن ثم عبوره من خلالهــا، وكذلك فإن البروتينات غير المنظمة البنية توجد في **محاور** axons الخلايا العصبية، حيث تشــكل بنى شبيهة بالفرشاة تحمي المحاور من الانهيار.

تبقى بعض البروتينــات (خلافا لما هو متوقع) بحالة غير منظمــة البنية حتى بعد ارتباطها بهدفها. فمؤخرا اكتشــف <T. ميتاك> [من مستشفى الأطفال في تورنتو (وهو الآن عضو تدريس في قســم <كريواكي>)] بروتينــا مثبطا في **الخميرة** yeast يدعــى البروتين Sic1، وهو يبقى مرتبطا بشــريكه عبر أجزاء صغيــرة تواصل القفز من وإلى موضع ارتباط وحيد، في حين يحافظ باقي البروتين Sic1 على اضطرابه.

ومثــل هــذا الاضطــراب يوجد أيضــا فــي بروتينات **المتعضيات** organisms الأكثر بساطة، وحتى في الڤيروسات. فهناك بعض الڤيروسات التي تعرف باسم **الملتهمات** phages والتي تتخصص بإصابة البكتيريا، وتقوم بالارتباط بأغشــية المضيف عبر بروتينات تتصل بجســم الڤيروس بأربطة مرنة، ويمكن لبروتينات الأربطة التي هي أصغر وأســرع حركة من الڤيروس الملتهم الكامل أن تعيد ترتيب نفسها للحصول على تطابق أمثل أثناء الإرساء.

لا تمييزية واسعة الانتشار(*)

وحتى اليوم جرى التعرف على 600 تقريبا من البروتينات غير منظمة البنية جزئيا أو كليا، كما جرى تعرف وظيفتها من قبــل باحثين يعملون في مختبرات حول العالم، إلا أننا نعتقد بوجــود المزيد منها، إذ إن العلمــاء قد تعرفوا حتى الآن بنية نسبة ضئيلة فقط من البروتينات التي يقدر عددها بـ 100 000 بروتين موجودة في جسم الإنسان وحده. والدراسات الحديثة في مجال **المعلومـات البيولوجية**(3) لـ <دانكر> ورفاقه كانت أيضا تشير إلى ذلك الاتجاه.

تقوم مقاربة المعلومات البيولوجية على الدراسات النظرية الســابقة لبروتينــات معينة، والتي اقترحت أنــه بعد أن تقوم الخلية بتصنيع سلســلة الأحماض الأمينية لتشكل البروتين، تنطوي هذه السلسلة اعتمادا على تركيبها. فالأحماض الأمينية الكبيرة الحجم و**الكارهــة للماء** hydrophobic – أي تلك التي تنفــر من جزيئات الماء التي عــادة ما تحيط بالبروتين – تميل بشكل خاص إلى التموضع في الداخل. وعلى العكس من ذلك، فإن الأحماض الأمينية التي نجدها على سطح بروتين مطو هي عادة ما تكون صغيرة الحجم و**محبة للماء** hydrophilic وهي تميل إلى الالتصاق بجزيئات الماء المحيطة بها.

كانت فكرة <دانكر> ترتكز على مقارنة تسلسل الأحماض

(*) WIDESPREAD PROMISCUITY
(1) أو مشوشة.
(2) moonlighting
(3) bioinformatics أو المعلومات الإحيائية.

الأمينيــة للبروتينــات المعروفــة بأنها مضطربــة ذاتيا، بتلك البروتينــات المعروفــة بأنها تتميــز بأشــكال مطوية صلبة. وفــي عام 1997، وجد فريقــه **بخوارزميات حاسـوبية**[1] أن البروتينات المضطربة ذاتيا كانت تحتوي على نســبة أكبر من الأحماض الأمينية المحبة للماء مقارنة بالبروتينات غير المرنة، فإن التوازن في نســبة الأحماض الأمينيــة المحبة للماء وتلك الكارهة له يمكنه أن ينبئنا فيما إذا كان بروتين ما ســينطوي جزئيا أو لا ينطوي على الإطلاق.

وفي عــام 2000 قــام فريــق <دانكر> (وبهــدف تقصي المضمون البيولوجي لاكتشــافاتهم الســابقة) بإجراء مقارنة عبــر ممالك الحيــاة. فحص الباحثــون جينــوم العديد من المتعضيات بخوارزميات بحثــا عن قطع من الدنا **تكود** code سلاســل طويلة من **الأحماض الأمينية المحبة للماء**[2]. ومن المفتــرض أن البروتينات الناتجة منها لا بد وأن تكون أفضل المرشــحين لتكون غير منظمة البنيــة، جزئيا على الأقل. ففي المتعضيات الأبســط كالبكتيريــا أو **العتيقـات** archaea، تم التنبؤ بوجود عدد أقل من البروتينات المضطربة ذاتيا، أما في **حقيقيات النوى** eukaryotes، وهي المتعضيات الأكثر تعقيدا مثــل الخميرة وذبابة الفاكهة والإنســان والتي تتميز بخلايا ذات نــواة – فعلى ما يبدو تكون البروتينات غير منظمة البنية أكثر شيوعا.

وفــي عام 2004 أضيف المزيد إلى هذه النتائج من فريق يقوده <D. جونز> [من جامعة لندن]، الذي استخدم مقارنات مشابهة تتضمن بيانات عن الإنسان. ومن المدهش أن هؤلاء الباحثين وجــدوا أن 35% من جميع بروتينات البشــر قد تحوي أجزاء طويلة غير منظمة البنية. وهكذا فإن نحو ثلث البروتينات البشــرية ربما يكون به أجــزاء كبيرة لا ينطبق عليها مفهوم القفل والمفتاح.

وما زالت أســباب هــذا الاختلاف غيــر واضحة، وأحد التفسيرات المحتملة هي أن البروتينات التي تحوي بنى بسمات تتوافق مع آلية القفل والمفتاح قد تكون الأمثل للقيام بوظائف محــددة كما هو الحال في نشــاط الإنزيمــات، في حين أن البروتينات المضطربة ذاتيا تكون الأفضل في إعطاء **الإشــارة** signaling والتنظيــم. وتضــم البكتيريا ذات البنية البســيطة جميــع مكوناتها في حاوية واحدة، فــي حين أن المتعضيات المعقــدة تتميز بوجود عدة حاويات مثل النواة وجهاز كولجي **والمتقـدرات** the mitochondria وغير ذلك، وهذا ما يســتدعي وجــود الكثير من الإشــارات ما بين أجزائهــا المختلفة؛ كما يتطلب رقابة أشــمل. كما تتطلب المتعضيات الكثيرة الخلايا سبلا لنقل الإشارة لتنســيق النشاط ما بين الخلايا وما بين الأنسجة المختلفة، ففي مثال البروتين p27 الذي سبق مناقشته، فبفضل مرونته، يتمكن البروتين من حمل رسائل كيميائية عبر مســارات نقل الإشــارة في خلية: تكود الرســائل في تحور شــكل البروتين وفي تعديلاته الكيميائية مثل الفســفرة، وفي رفقائه الذين يرتبط بهم (وبذلك يثبط أو ينظم).

السر الأكثر خفاء في التطور(*)

قد تكون قلة البروتينــات المضطربة ذاتيا في البكتيريا مؤشــرا إلى أن هذه البروتينات قد نشــأت فقط في مرحلة متأخرة من التطور. ومع ذلك، تشــير العديد من الدراسات إلى أنها نشــأت في وقت مبكر. فأحد الأدلة، هو أن العديد من نظم نقل الإشارة المهمة في البكتيريا تقوم على بروتينات غيــر منظمة البنيــة عوضا عن منظمــة البنية. وفضلا عن ذلك، نجد أن بعض الآلات الجزيئية القديمة النشــوء والتي كانت تتألف من الرنا والبروتينات متجمعة مع بعضها، فإن كافــة البروتينات تقريبا كانت غيــر منظمة البنية جزئيا أو كليا عندما لاتكون مرتبطة بشــركائها من الرنا. وتتضمن هذه الجزيئات المركبــة الهجينة القديمة **السپليسوسـوم** spliceosome (وهو آلة جزيئية تقوم بتحرير (إعداد) وضفر الرنا كخطوة ســابقة لإنتــاج البروتينات)، و**الريبوسـوم** ribosome[3] (الجزيء المركب الذي ينظم الأحماض الأمينية معا في سلسلة ليشكل البروتينات).

تشــير الأبحــاث التــي تتعلق بنشــوء الحياة إلــى قِدَم البروتينــات غيــر المنظمة البنية. وتقول النظرية الســائدة إن المتعضيات الأولى كانت ترتكــز على الرنا، وكان الرنا يعمل بالوقت ذاته كجزيء تحفيزي وأيضا كمســتودع للمعلومات الوراثية – الــدوران اللذان تؤديهمــا البروتينات والدنا على الترتيــب في الخلايا الحديثة. وإحدى المشــكلات المهمة في نظريــة عالم الرنا هذا أن الرنا ينطوي بشــكل غير فعال في هيئته المحفزة النشطة وكثيرا ما يجمد في هيئته غير الفعالة. يوجــد في الخلايا الحديثة بروتينــات معينة تدعى **مرافقات (شـاپيرونات) الرنـا**)[4]، وهــي تقوم بمســاعدة الرنا على الانطواء الصحيح، كما أن هناك بروتينات أخرى تقوم بتثبيت الهيئــة الفعالة لرنا معين، وهذا ما يشــير إلى أن حلول مثل هذه البروتينات قد أوجد الحل لمشــكلة تجمد الرنا في هيئته المنطوية. والمرافقات والبروتينــات المثبتة كلاهما يفتقدان أي

(*) EVOLUTION'S BEST-KEPT SECRET

(1) computer algorithms، والخوارزميــات جمــع خوارزميــة وهــي طريقة مقننة في الحساب وتنسب إلى عالمنا الشهير «الخوارزمي».

(2) hydrophilic amino acids

(3) أو الريباسة.

(4) RNA chaperones

بنية ثابتة قبل أن يرتبطا بالرنا.

ومع ذلك، فإن تحليل منشــأ **الكود الجيني** genetic code قد قدم دعما إضافيا إلى النشوء المبكر للبروتينات غير المنظمة البنيــة. فالكود الجيني هو عبارة عن مجموعة التعليمات التي تستخدمها الخلية بغية ترجمة المعلومات المختزنة في الأحماض النوويــة (الرنا أو الدنا) في النواة إلى سلســلة متعاقبة من الأحماض الأمينية. ويعتقــد الباحثون أنه قد تم تكويد بعض الأحماض الأمينية في مرحلة مبكرة من نشــوء الحياة، بينما ظهر بعضها الآخر في وقت لاحق. ومن المرجح أن الأحماض الأمينية الكبيرة الحجم والكارهــة للماء والتي تدفع البروتين إلى الانطواء ظهرت في وقت متأخر، ومن ثم فالبروتينات التي تتألف من الأحماض الأمينية التي ظهرت في وقت مبكر غالبا ما ســتبقى غير منطوية فيما إذا تُركت وشأنها. وإذا صحت هــذه الأفكار المتعلقة بنشــوء الكود الجيني، فــلا بد من أن البروتينات الأولى في العالم كانت تنطوى بشــكل ضعيف أو لا تنطــوى على الإطلاق. ومن الواضح أن الأحماض الأمينية التي نشــأت فيما بعد هي التي مكنت البروتينات من تشكيل بنية منظمة، مما وضع الأساس لتشكيل مواقع إنزيمية فعالة تعمــل وفق نموذج القفل والمفتاح، وهــذا ما مكن البروتينات وعبر ملايين الســنين مــن الحلول مكان الرنــا كمركز القوة التحفيزية في جميع الخلايا الحية.

سيف ذو حدين(*)

نظرا للدور البيولوجي المحوري الذي تؤديه البروتينات، فليــس من المســتغرب ارتبــاط العديد منهــا بالكثير من الأمــراض. لذا، فإن النموذج الجديــد للاضطراب الذاتي للبروتينات ســيكون لــه تأثير عميق فــي فهمنا للأمراض البشرية وكيفية معالجتها.

بدايــة، في بعض الحــالات، يكــون لعدم وجــود البنية المنظمة للبروتين تأثيــر مؤذٍ: فإذا كانت الخلية تقوم بإنتاجها بصــورة زائدة فإن بعض هــذه البروتينات غير المنظمة البنية تكــون عرضــة للتراكم معا مشــكلة **صفائــح** plaques. وإذا حدث ذلك في الدماغ فســتكون تلك الصفائح المشــتبه فيها الأســاس للعديد من **الأمراض العصبية الانتكاســية**(1) مثل داء ألزهايمر وپاركنســون و**هنتكتون** Huntington. وبصورة أعم، فإنــه يبدو أن هذه البروتينات غيــر المنظمة البنية يجب أن تخضــع لعملية كبح دقيقة لتلافي حدوث المشــكلات: في عام 2008 بينت دراســات واسعة النطاق قام بها <M .M. بابو> [من مختبــر مجلس الأبحــاث الطبية للبيولوجيــا الجزيئية فــي كامبريدج بإنكلترا] أن الخلايــا تقوم بضبط البروتينات المضطربة بشكل أكبر مقارنة بالبروتينات المنطوية.

إن إدراك ارتباط البروتينات المضطربة ذاتيا بأمراض معينة قــد أدى إلى طرح أفكار جديدة تتعلق بإمكانية اســتخدامها كعلاجات. إن التفاعلات بروتين-بروتين تكمن في الواقع وراء كل عملية بيولوجية (حيوية)، لذا صارت منذ زمن بعيد أهدافا جاذبة لاختراع أدوية، لكنها لم تحقق ســوى نجاحات بسيطة حتــى الآن، مقارنــة بالمقاربة التي تســتهدف التفاعل ما بين الإنزيمات والجزيئات الأصغر. وغالبا ما تقدم البروتيناتُ التي تتفاعل مع البروتينات غيــر المنظمة البنية مكانَ تثبيتٍ منعزلا يستخدمه البروتين للارتباط، مما يمكن الباحثين من استثمار ذلك بهــدف تثبيت أدوية جديدة. وقد أبــدت بعض الجزيئات التي تعمل علــى حجب التفاعل ما بين **جــين** gene مهم كابح للســرطان وواحد من البروتينات المنظمة له نجاحا باهرا في مكافحــة الســرطان في الحيوانــات في المختبــر، وهي الآن تخضع لتجارب سريرية على البشر. وحاليا، يقوم <كريواكي> وفريقــه بتطوير خط هجوم مماثل لمعالجة **سرطان الشــبكية** retinoblastoma، وهو ســرطان يصيب العيون خصوصا عند الأطفال. وقد أعطت النتائــج الأولية للأبحاث على الحيوانات نتائــج واعدة، وهنــاك مختبرات أخرى تعمل على مشــاريع مماثلة.

وقد بدأ العلمــاء المهتمين بفهم آلية قيام البروتين بعمله بالتخلــص من الانحياز القديم لنموذج القفل والمفتاح لعمل البروتــين. وقد أدركــوا أنه يمكن القيــام ببعض الوظائف البيولوجية بأفضل ما يكون باستخدام بروتينات صلبة، في حين أن بعضها الآخر يحتاج إلى بروتينات ذات ديناميكية عالية. وإن بزوغ فجر حقبة جديدة من إدراك بنية البروتين وكيفية قيامه بوظيفته قد يكون له أثر كبير في تحول فهمنا للحياة، وربما لإنقاذ حياة. ■

(*) DOUBLE-EDGED SWORD

(1) neurodegenerative diseases أو الأمراض العصبية التنكسية. (التحرير)

مراجع للاستزادة

Structural Studies of p21$^{Waf1/Cip1/Sdi1}$ in the Free and Cdk2-Bound State: Conformational Disorder Mediates Binding Diversity. Richard W. Kriwacki et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 93, No. 21, pages 11504–11509; October 15, 1996.

Identification and Functions of Usefully Disordered Proteins. A. Keith Dunker et al. in *Advances in Protein Chemistry*, Vol. 62, pages 25–49; 2002.

Intrinsically Unstructured Proteins and Their Functions. H. Jane Dyson and Peter E. Wright in *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, Vol. 6, pages 197–208; March 2005.

Structural Disorder Throws New Light on Moonlighting. Peter Tompa et al. in *Trends in Biochemical Sciences*, Vol. 30, No. 9, pages 484–489; September 1, 2005.

Database of Protein Disorder. Known unstructured proteins are searchable online at **www.disprot.org. Protein Data Bank (www.rcsb.org/pdb)** is a database of structured proteins.

Scientific American, April 2011

جِين، عالمة الأدغال(*)

‹J. گودال› اختصاصية في علم الرئيسيات(1) تدلي بملاحظاتها من خلال سنواتها الخمسين التي قضتها بين الشمپانزيات.

مقابلة أجرتها ‹K. وونگ›

بتاريخ 1960/7/4، وصلت ‹جين گودال› ذات الـ26 ربيعا إلى محمية نهر گومبي في تانزانيا لدراسة سلوك الشمْپانزيات. ومن خلال وصفها لقصص الحياة المفعمة بالدراما لكل من فيفي وديڤيد گرييبرد وقردة أخرى، بَيّنت ‹گودال› أن هذه القردة تشترك في العديد من السجايا التي كان يُظن سابقا أنها مقتصرة على الإنسان. وحاليا تعمل ‹گودال› البالغة من العمر 76 عاما على حماية القردة المعرضة للخطر هي **وموائلها** habitats. وقد اتصلت مجلة *ساينتفيك أمريكان* مؤخرا بـ‹گودال› هاتفيا في هونگ كونگ، حيث كانت تحيي الذكرى الخمسين لانطلاقة عملها في محمية نهر گومبي. وفيما يلي مقتطفات حُررت من هذه المحادثة الهاتفية:

ساينتفيك أمريكان (SA): ***أول ما وصلتِ إلى گومبي، ماذا كانت أفكارك المسبقة عن الشمپانزيات؟***

‹گودال›: كنت أتوقع أن يكون الشمپانزي بالغ الذكاء، أما عن كيف كان يعيش في البرية أو ماذا كانت بنيته الاجتماعية، فإن أحدا لم يكن يعرف الكثير عن ذلك.

(SA): ***أي شيء من سلوك الشمپانزيات كان أشد إدهاشا لك؟***

‹گودال›: الشيء الأكثر تميزا هو شبهها الذي لا يصدق بالبشر. فالكثير من الناس كانوا حقا مندهشين من حقيقة أن الشمپانزي يصنع الأدوات ويستعملها. وهذا لم يدهشني كثيرا، لأن عالم النفس الألماني ‹K. كوهلر› كان قد ذكر أن القردة وهي في الأسر تستعمل الأدوات بيُسر. ولكنه كان من المثير مراقبة هذا السلوك في البرية، مع الصيد وتقاسم الطعام، لأنه مكّننا من الحصول على المال اللازم للاستمرار في بحثنا.

والأمر الذي كان كالصدمة بالنسبة إلي هو أنها، مثلنا، لها جانب شديد الظلمة، ويمكنها ممارسة وحشية عنيفة، حتى الحرب. فمجتمعاتها سوف تنخرط في نوع من الصراع البدائي الذي يبدو أنه صراع على حوزة الأراضي. ولعل المثير أكثر من ذلك هي الهجمات على المواليد الحديثة الولادة في مجتمعها نفسه.

(SA): ***ما الذي يميز العقل البشري عن عقل الشمپانزي؟***

‹گودال›: التطور الهائل للتفكير. تستطيع أن تجد شمپانزيا ذكيا جدا بحيث يمكنه تعلُّم لغة الإشارة والقيام بالعديد من المهام على الحاسوب، ولكن لا يمكن مقارنة ذلك العقل بعقل أي شخص عادي، ناهيك عن أينشتاين. واعتقادي الخاص هو أن تطور ذكائنا تسارع عندما بدأنا باستعمال ذلك النوع من اللغة الذي نستعمله اليوم، اللغة التي تمكننا من مناقشة الماضي والتخطيط للمستقبل البعيد.

(SA): ***كيف هو حال الشمپانزي في البرية؟***

‹گودال›: ليس حالها بجيد على الإطلاق. تختلف التهديدات الأساسية من مكان لآخر، ولكن المشكلة الكبيرة في معظم الأماكن هي النقص الحاصل في غابات الشمپانزيات. في حوض الكونگو، حيث توجد الجمهرة الرئيسة للشمپانزي، يشكل الاتجار غير القانوني بلحوم الطرائد تهديدا كبيرا آخر. ويمكن للشمپانزي أيضا أن يلتقط العديد من أمراضنا المعدية، وهكذا فكلما شقَّت شركات التحطيب طرقا أعمق في الغابة، تعرضت الحيوانات لخطر أكبر.

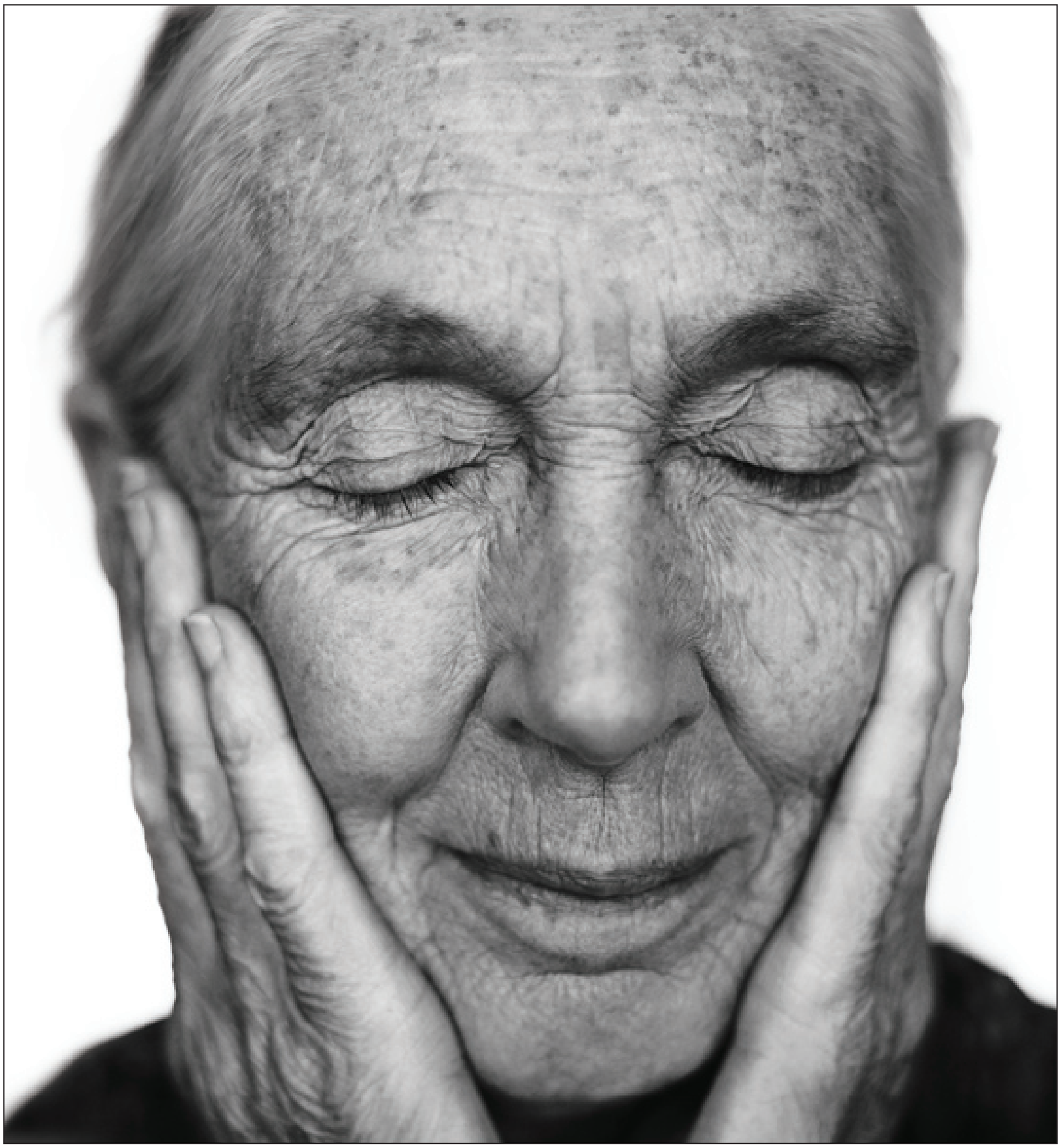
(SA): ***ما الذي يجرى حاليا لحماية الشمپانزي؟***

‹گودال›: في تانزانيا بدأ معهد «جين گودال» برنامجا سُمي «**اعتن**» "TACARE"(2) والذي يعمل على تحسين حياة القرويين

(*) JANE OF THE JUNGLE أو جين الغاب.

(1) primatologist اختصاصي في **علم الرئيسيات** primatology.

(2) "Take Care"



المحليين عبر المساعدة على التخفيف من وطأة فقرهم، ولهذا فهم يريدون الآن دعم جهودنا لحماية الغابة. إنهم يدركون أهمية الحفاظ على المياه من خلال عدم قطع الأشجار. إن محمية گومبي صغيرة جدا، لكنها تمتلك الآن حزاما أخضر ينمو في كل اتجاه من محيط المتنزه العام حيث كان يوما هضابا جرداء. ولدينا بدايات لنطق تنتشر باتجاه غابات مدارية أخرى حيث تعيش مجموعات صغيرة من الشمپانزي. وليس لدينا أدنى فكرة عما إذا كانت الحيوانات سوف تستعمل هذه النطق، ولكننا على الأقل نوفر لهم ذلك الخيار.

وهناك تطور آخر هو **مبادرة خفض الانبعاثات الناجمة عن إزالة الأحراج وتدهور الغابة**[1] (REDD)، وهي آلية يتم من خلالها توجيه الأموال من تجارة الكربون إلى المجتمعات التي يمكنها أن تثبت أنها تقوم بحماية غاباتها. وبمنحة المال التي تلقيناها من سفارة مملكة النرويج بتانزانيا عام 2010، نعمل على مساعدة المجتمعات على المشاركة في المبادرة REDD من خلال العمل، من بين أمور أخرى، مع برنامج گوگل Google Earth Outreach لتدريب السكان المحليين على استعمال الهاتف الذكي أندرويد Android وغيره من التقانات لجمع البيانات عن الكربون ومراقبة غاباتهم.

(SA): ***ماذا كانت أهم إسهاماتك؟***

<گودال>: كَسْرُ هذا الحاجز الصارم المُتَصَوَّر بيننا وبين سائر المخلوقات. وأعتقد أن الشمپانزيات ساعدت البشر على فهم أننا جزء من المملكة الحيوانية، ولسنا منفصلين عنها، وهذا مهَّد السبيل لنُكِنّ التقدير للكائنات الأخرى المدهشة التي نتشارك كوكب الأرض معها.

وعلى الشباب في كل مكان أن يدركوا أن ما نفعله كل يوم بشكل فردي يُحدِث تغييرا. فإذا شرع كل شخص في التفكير في عواقب الخيارات الصغيرة التي يتخذونها – ماذا يأكلون، ماذا يلبسون، ماذا يشترون، وكيف ينتقلون من النقطة A إلى النقطة B – والعمل وفقا لذلك، فإن ملايين هذه التغييرات الصغيرة سوف تكون التغييرات الكبرى التي يجب أن نحققها إذا كنا نحب أطفالنا حقا. ولهذا السبب، فإنني أقضي 300 يوم في السنة في السفر أتحدث في هذا المضمار إلى مجموعات من اليافعين وكذلك البالغين، سياسيين ورجال أعمال – لأنني لا أظن أنه بقي لدينا الكثير من الوقت. ■

(١) Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation

Scientific American, December 2010

سبيل سريع لابتكار لقاحات[*]

إنّ تحليل جميع طبقات الجهاز المناعي في آن واحد يُسرِّع من تصميم اللقاحات، وقد يؤدي يوما ما إلى إنجاز حاسم ضد ڤيروس عوز (نقص) المناعة البشرية المكتسب (HIV).

<A. أديريم>

في عام 2007، أصيب الباحثون في مجال **ڤيروس عوز (نقص) المناعة البشرية المكتسب** (HIV)، ومؤيدو العمل على مكافحته، بخيبة أمل كبيرة، إذ فوجئوا بفشل أحد اللقاحات التي علّقوا عليها آمالا كبيرة ضد هذا الڤيروس، فلم ينجح ذلك اللقاح في حماية أيَ فرد من ثلاثة آلاف شخص في تجربة سريرية. ومما زاد الأمر سوءا أن اللقاح التجريبي الذي شارك في تمويله كلّ من شركة ميرك للأدوية والمعهد الوطني للحساسية والأمراض المعدية، قد فاقم بالفعل من فرص إصابة بعض الأشخاص بالڤيروس (HIV) في وقت لاحق. فقد صُرفت ملايين الدولارات ومر ما يزيد على عقد من الزمن من الأبحاث التي كانت تهدف إلى ابتكار اللقاح. وخلال هذه السنوات العشر توفي 18 مليون شخص بمُتَلازِمَة عَوَز (نقص) المَناعة المُكْتَسَب (الإيدز)، وأصيب بالإنتان به ملايين أخرى من البشر.

ويُعزى السبب الأكبر لفشل لقاح الشركة ميرك Merck إلى جهل الباحثين، حتى الآن، بالكيفية التي يمكنهم من خلالها ابتكار اللقاح الأمثل لهذا المرض. صحيح أنّ عددا من اللقاحات الأخرى قد حقق نجاحا مذهلا، مثل لقاحُ شَلَلِ الأَطْفال والجُدَرِيّ، غير أنّ الحقيقة تكمن في أنّ الحظ قد أدى دورا كبيرا في تحقيق هذه النجاحات. واستنادا إلى المعرفة المحدودة بالجهاز المناعي والسمات البيولوجية **للمُمْرِضات**[1] pathogens، فقد افترض الباحثون فرضيات مدروسة حول تركيبات اللقاح التي يمكن لها أن تنجح، وربما بعد إجراء قليل من التعديلات عليها، وقد كان لهذه التخمينات حظ طيب فأثبتت صحتها عندما نجحت في حماية الناس. غير أنّه في كثير من الأحيان قد يؤدي عدم التبصر الكافي بالاستجابة المناعية المطلوبة إلى خيبة الأمل، وذلك عندما يُعلن عن عدم فعالية لقاح ما بعد تجريبه على عدد كبير من الناس.

ولكن ماذا لو توفر للباحثين سبيل أسرع وأكثر فاعلية بحيث يستطيعون من خلاله تطوير لقاحات مُحتملة وتقييمها؟ مثاليا ستقوم الطريقة البديلة على فهم واضح للمزيج الدقيق من الاستجابات المناعية التي ينبغي أن تحصل إذا ما أريد من اللقاح أن يُحدِثَ تفاعلا وقائيا قويا. فعلى سبيل المثال، أي من مجموعات الخلايا المناعية يجب عليها أن تتفاعل في ما بينها، وبأي الطرق؟ وما

(*) FAST TRACK TO VACCINES

(١) أو العوامل المسببة للمرض. (التحرير)

باختصار

تعتمد الطرائق التقليدية لتصميم اللقاحات اعتمادا كبيرا على مبدأ التجربة والخطأ. إذ يطور الباحثون أحد المُركبات التي يعتقدون أنها سوف تحفز حدوث استجابة مناعية، ومن ثمّ يقومون بتجربة هذا المركب على آلاف البشر.

برز حقل جديد في ميادين الأبحاث يعرف **ببيولوجيا النُّظُم** systems biology يستطيع جعل عملية تطوير اللقاحات وتجربتها أكثر سرعة وكفاءة.

تقوم فرق الباحثين بقياس التغيرات في الأنشطة الجينية ومستويات البروتينات والسلوك الخلوي للجهاز المناعي استجابة للقاح المحتمل. وتقوم حواسيب خاصة بتحليل البيانات الناتجة لتطوير سمات جزيئية لهذه الاستجابات.

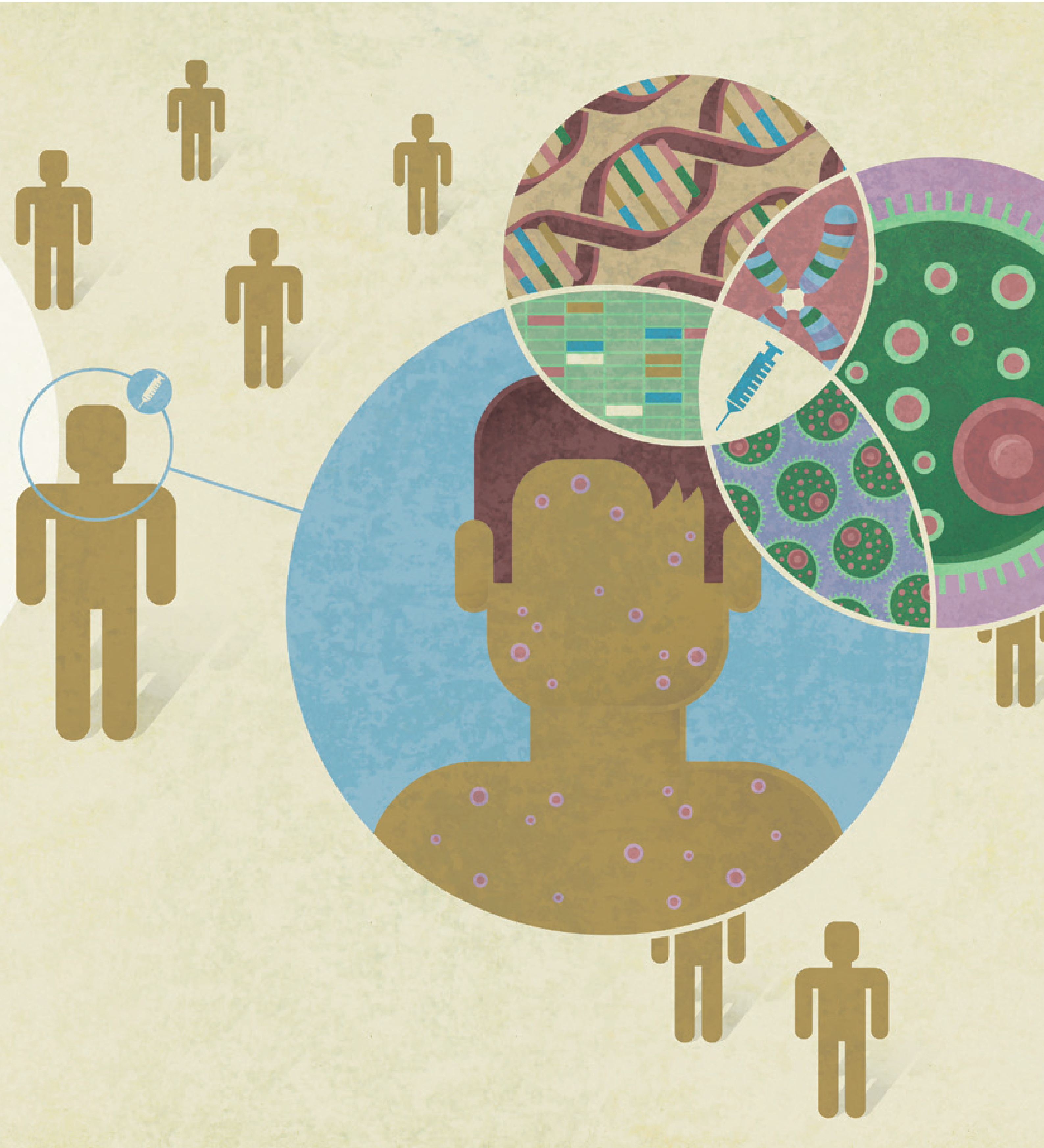
وبمقارنة السمات الجزيئية بالسمة المثالية التي يُفترض أن تنشأ نتيجة لاستجابة مناعية وقائية متكاملة، يتمكن الباحثون من العثور على صيغ اللقاحات الواعدة أكثر وتطويرها.

المؤلف



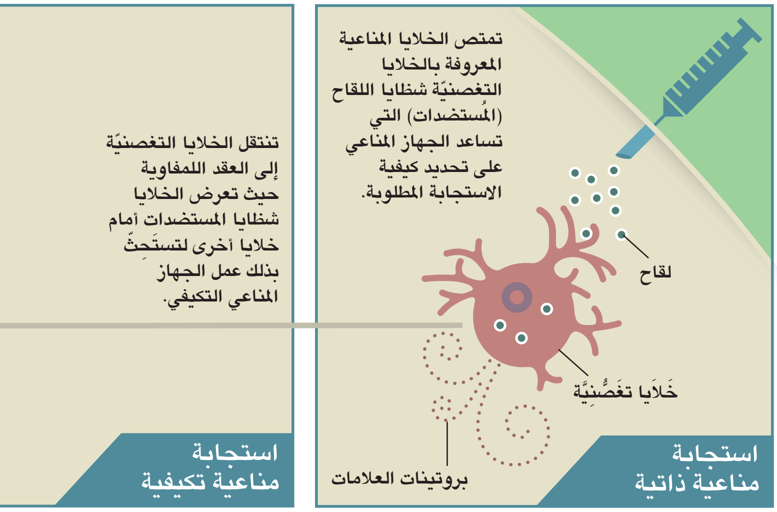
Alan Aderem

<آديريم> هو اختصاصي في علم المناعيات والبيولوجيا الخلوية يتمتع بشهرة عالمية، وشارك في تأسيس معهد بيولوجيا النُّظُم في سياتل عام 2003. وهو حاليا مدير معهد سياتل للبيولوجيا الطبية الذي يهتم بشكل رئيسي في تطوير اللقاحات.



تفاصيل حول الدفاع(*)

يتمثَّل نجاح اللقاح بقدرته على تحفيز الجهاز المناعي على بناء دفاع قوي ضدّ فيروس مُعيّن أو بكتيريا أو مُمْرِض آخر قبل حدوث الإنتان بهذا العامل. وتُطلق أفضل مركبات اللقاحات (سواء كانت محضَّرة من فيروس كامل أو من فيروس مُعَطَّل أو من قطع من الفيروس) عددا من التفاعلات المتتابعة في فرعين من الجهاز المناعي، هما الجهاز المناعي الذاتي والجهاز المناعي التكيفي. ويوضح هذا الشكل الخطوات الرئيسة في تحضيرات ميدان الحرب المعقدة. وثمة مجموعة جزئية من المدافعين في الجبهة الأمامية من الخَلاَيا التَّغَصُّنِيَّة the dendritic cells، وهي خلايا غير متخصصة، تستجيب سريعا بعد دخول اللقاح إلى الجسم، وتبتلع هذه الخلايا جزيئات اللقاح قبل تسليمها المهمة التالية إلى خلايا أكثر تخصصا – وهي الخلايا التائية والخلايا البائية المنتجة للأضداد antibodies – وذلك كي تتذكر العامل الغازي وتحضِّر الجسم لردع أي هجمات مُستقبلية يشنها عليه أعداؤه من المِكروبات ذاتها أو الميكروبات المشابهة لها.



هي مجموعات الجينات التي ينبغي على هذه الخلايا أن تنشطها أو تثبطها؟ وعندها يُمكن للباحثين تجميع هذه المعلومات على شكل صورة للجهاز المناعي بكامله، أو بصمة للمناعة الوقائية. وبدوره، سوف يقوم هذا النهج بإرشادنا بدقة إلى ما ينبغي على اللقاح عمله للوقاية من المرض. يستطيع العلماء أن يقارنوا بين مئات من التركيبات المحتملة، وأن لا يتبعوا منها سوى التركيبات التي تعطي **مرتسمات** profiles قريبة من التركيبة المُثلى. عندها، يستطيع هؤلاء العلماء متابعة العمل على تحسين تلك التركيبات المحتملة من اللقاحات في تجارب تجرى على مجموعات صغيرة من البشر حتى الوصول في النهاية إلى عدد قليل لا يتجاوز عدد أصابع اليد من اللقاحات المرشحة لتوليد البصمة البيولوجية الأقرب إلى اللقاح الأمثل. ومن خلال محاولة المواءمة بين مختلف البصمات المثلى لهذه التجارب الصغيرة، يستطيع هؤلاء العلماء خلال فترة قصيرة جدا، معرفة ما إذا كان للقاح فرصة جيدة للنجاح. ومع حلول الوقت الذي يختبر فيه اللقاح التجريبي النهائي في تجارب سريرية موسعة على الناس، سيكون نجاحه مضمونا واقعيا.

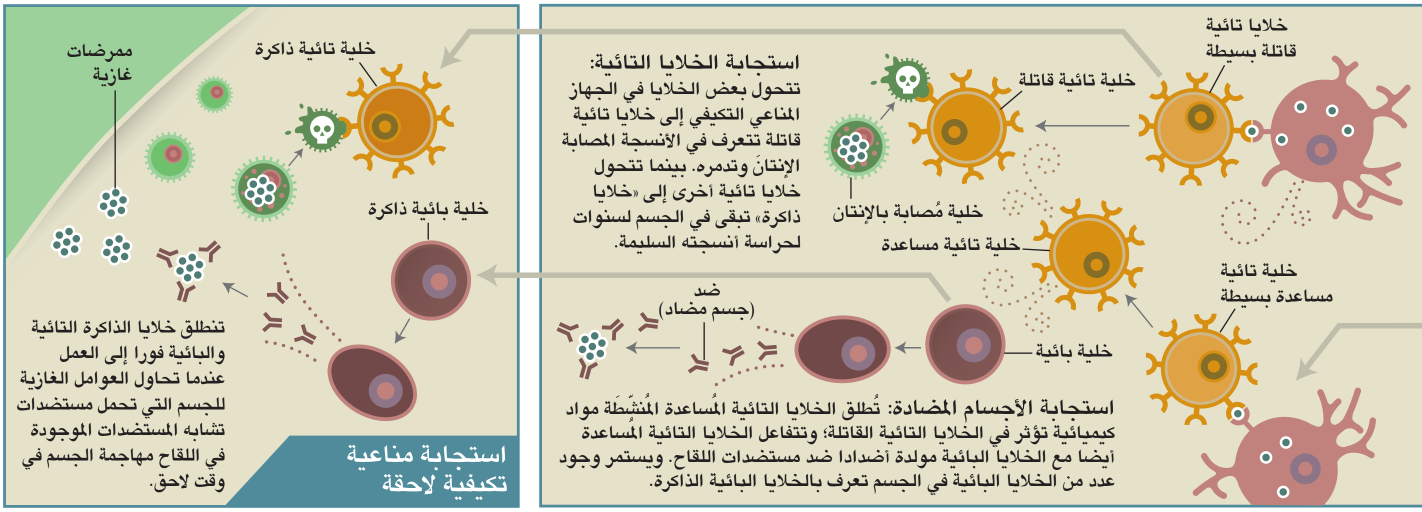
حتى وقت قريب، لم يكن العلماء يمتلكون الأدوات أو الخبرة التي تجعلهم قريبين إلى هذه **الرؤية** vision. فقد كانت ثمة حاجة إلى وجود فِرَق متعددة الاختصاصات قادرة معا على فهم علم المناعة وبيولوجيا الميكروبات، وكيفية وضع نماذج تمثِّل النظم البيولوجية المعقدة، وتعرف الأنماط المفيدة ضمن كم هائل من البيانات. كذلك، كانت ثمة حاجة إلى وجود تقانة قادرة على القيام بقياسات متعددة ومتزامنة للتغيرات الحاصلة في الأنشطة الجينية، ومستويات البروتينات، و**السلوك الخلوي**(1)، وفي غير ذلك من سمات الاستجابات المناعية – إضافة إلى الحواسيب وبرامجها التي تستطيع معالجة جميع هذه البيانات.

ومع ذلك، يقوم الآن عدد من الباحثين العاملين في حقل يطلق عليه اسم **بيولوجيا النُّظُم** systems biology بتشكيل مثل هذه الفرق، واتخاذ الخطوات الأولى لتطوير الأدوات، التي يمكنها أن تحسن بشكل كبير من طرق تصميم اللقاحات. وقد بدأنا العمل الآن، كجماعة، بتفكيك تفصيلي **لشفرة**(2) الاستجابات المناعية المطلوبة لحماية الإنسان من الفيروس HIV. كما يجري حاليا استخدام مقاربات بيولوجيا النُّظُم لتطوير لقاحات ضد الإيدز والدرن (السل) والملاريا والإنفلونزا.

حالة اختبارية(**)

إن جميع اللقاحات، سواء ما تم تحضيره بالطريقة التقليدية أو بناء على أبحاث بيولوجيا النُّظُم، تحتوي على قطع صغيرة من الفيروسات أو من البكتيريا أو من الطفيليات التي تحفز استجابات مناعية نوعية جدا. وفي بعض الأحيان، تكون هذه القطع الصغيرة، التي يسميها العلماء **المُستضدّات** antigens، جزءا من فيروس كامل مُضْعَف (وهذا ما كان عليه الحال منذ 200 عام، عندما قام E. جينّر بتلقيح صبي يافع بلقاح الجُدَري مستخدما

(*) Defense in Depth
(**) TEST CASE
(1) cellular behavior
(2) decipher



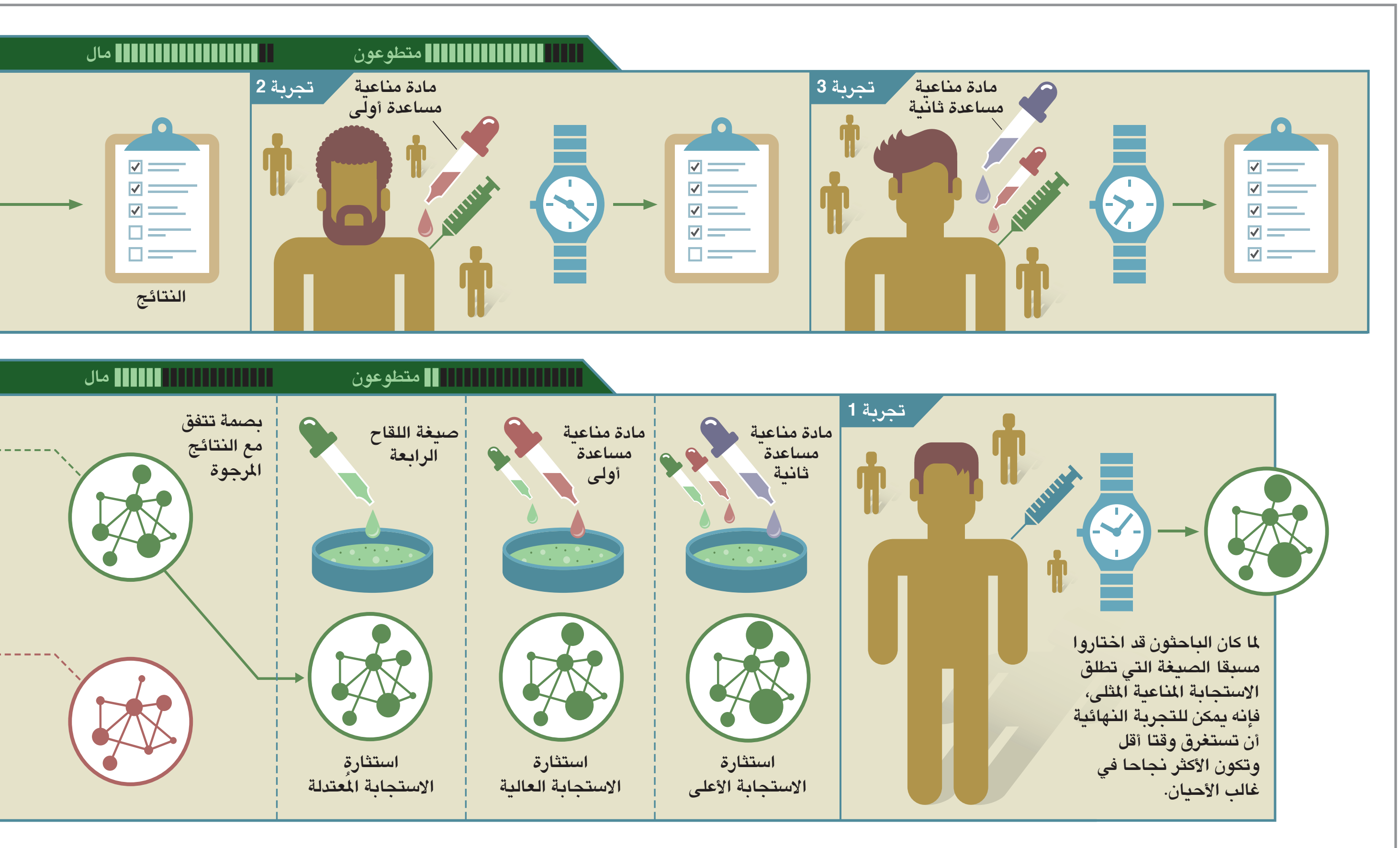
القيح الذي أخذه من صديد من بثرة مرض جدري البقر ظهرت على جلد إحدى العاملات في حلب الأبقار المصابة بالمرض). وفي أحيان أخرى، تكون المستضدات جزءا من ڤيروس كامل – ولكنه مُعَطّل تماما – مستخلص من عامل مسبب للإنتان (مثل نسخة **سولك** Salk من لقاح شلل الأطفال)، أو أن تكون جزيئات المستضد بحد ذاتها هي اللقاح نفسه (كما في اللقاحات المضادة للخناق (الدفتريا)، والشاهوق (السعال الديكي)، والكزاز (التيتانوس). وقد تتضمن بعض اللقاحات مواد مساعدة، وهي مواد تحفز الأنشطة المناعية بشكل عام. وعندما تسير جميع الأمور على ما يرام، يستجيب الجهاز المناعي لمستضدات اللقاحات بسلسلة موجهة ومنظمة من الأحداث الخلوية والجزيئية التي تسمح للجسم **بإحصار** block أيّ إنتان مستقبلي ڤيروسي أو بكتيري يحمل المستضدات ذاتها أو ما يشابهها. ويكمن السر في قدرة مطوري اللقاحات على إيجاد التوليفة الصحيحة من المواد المستضدية والمواد المساعدة التي توفر التحصين الأقوى.

وعلى الرغم من أنّ لقاح الحُمّى الصفراء، المعروف باللقاح YF-17D، قد طُوِّر بالطريقة التقليدية، فإنه قد نجح في تحقيق المرجو منه بدقة. فهو واحد من أكثر اللقاحات التي أُنتجت حتى الآن فاعلية. إنّ حقنة واحدة من هذا اللقاح توفر المناعة للجسم خلال أسبوع واحد فقط وحماية تدوم 30 عاما على الأقل. قدّم هذا النجاح فرصة لاختبار بعض الأفكار والطرق المتبعة في بيولوجيا النُّظُم، ودفع إلى الشروع فورا في دراسة ذلك، وقد قاد هذه الدراسة ‹B. پولنْدْرَن› [من جامعة إيموري] بمساعدة فريق ‹رافي أحمد› [من جامعة إيموري أيضا ومن فريق في معهد بيولوجيا النظم (ISB)] ولأننا نعلم أنّ اللقاح فعّال، اعتقدنا أنه سيكون بمقدورنا تعرف المرتسم التفصيلي للتغيرات الجزيئية **والخلوية**[1] التي ينتج منها نجاح التحصين لدى الأشخاص الذين لقّحوا به. وقد عثرنا على هذه البصمة وانطلقنا نبني على الخبرات المكتسبة لتعرف سبب فشل لقاحات الڤيروس HIV في إطلاق المناعة المطلوبة للوقاية من الإنتان.

لقد بدأنا تجربة الحمّى الصفراء من خلال تلقيح 25 متطوعا أصحاء، بلقاح الحمّى الصفراء YF-17D. ومن ثم أخذنا عينات دم من المتطوعين على مراحل متعددة: عينة عند التلقيح، وأخرى بعد ثلاثة أيام منه، وأخرى بعد سبعة أيام، وأخرى بعد 21 يوما. ثم وضعت كلّ عينة من العينات في جهاز الكشف الآلي لتعرف أي من الجينات جرى تنشيطها. وبالطبع، لا تقوم الجينات بشكل مباشر بإنتاج البروتينات التي تحتاج إليها الخلية. ففي البداية يتم استنساخ جزيئات الدنا إلى جزيئات من **الرنا المرسل** messenger RNA التي تستخدم بدورها كنموذج لبناء البروتينات. وهكذا فإنه من خلال تعرف مستويات الرنا، نستطيع تعرف، ليس فقط الجينات التي تم التعبير عنها (أي التي استخدمت لإنتاج البروتين)، بل يمكن أيضا تعرف مدى فعالية تلك الجينات.

وكما توقعنا، فإنّ اللقاح YF-17D يقوم أوّلا بتفعيل الجهاز المناعي الذاتي، وهو الجهاز المناعي الأقدم (من وجهة النظر التطورية) من بين الفرعين الدفاعيين

(1) cellular: خلوي أو خليوي. (التحرير)

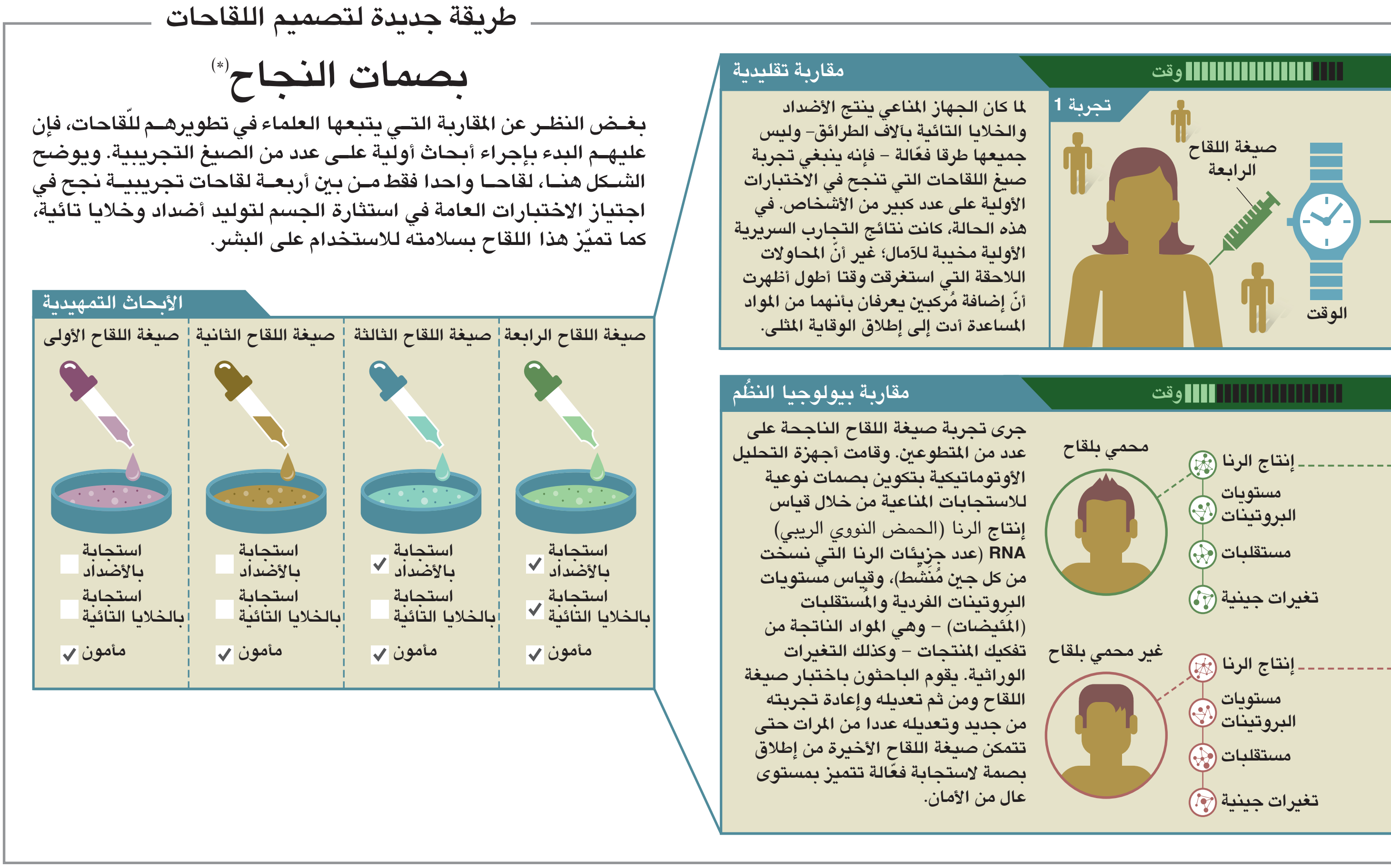


في الجسم. فالجهاز المناعي الذاتي يقوم بالمواجهة الفورية ضد جميع أشكال الممرضات. كما تقوم خلايا المناعة الذاتية باستيعاب معظم **المتعضيات الميكروية** microorganisms وقتلها. ومع أنّ الاستجابة الذاتية تكفي عادة للتعامل مع التهديد الخارجي، فإن الجهاز المناعي الذاتي يقوم بإصدار التعليمات إلى الجهاز المناعي التكيفي الأحدث ظهورا لتوليد استجابات نوعية ذات مواصفات محددة تناسب المُمْرِض المهاجم، مما يجعل الضرر محدودا ويتم احتواؤه بشكل أسرع في حال تكرُّر حدوث الإصابة بالإنتان.

بعد عشرة أيام من التلقيح، قام الجهاز المناعي الذاتي لدى المتطوعين بتنبيه الجهاز المناعي التكيفي للتفاعل بطلقتين متتابعتين من التنبيهات. تولد في الأولى بروتينات خاصة تعرف **بالأضداد (الأجسام المضادة)**[1] antibodies لمختلف أجزاء فيروس الحُمّى الصفراء، وبعد ذلك تفعل مجموعة من الخلايا المناعية تعرف **بالخلايا التائية القاتلة** Killer T cells، التي تقوم بدورها بتعرّف الخلايا المصابة بالإنتان في الجسم وتُدمِّرها. ومن خلال إجراء عدد من التحليلات، تعرفنا 65 جينا أدت دورا أساسيا في استجابة الجسم للقاح YF-17D. وأظهر تحليل أكثر عمقا أنّ نمطا نوعيا يتضمن تلك الجينات قد دلّ بشكل خاص على تفعل كل من الأضداد القوية والخلايا التائية القاتلة. وبعبارة أخرى، تمكنّا من إثبات وجهة نظرنا في هذا الصدد. وقد استطعنا أن نقيس بدقة متناهية، وأن نحدّد بالضبط أي الجينات في الجهاز المناعي بدأت بالعمل وتلك التي توقفت عن العمل خلال عملية الاستجابة المناعية القوية للقاح YF-17D. ومن ثم توصل ‹رفيق-بيير سيكالي› [من معهد للقاحات والمعالجة الجينية – فلوريدا (VGTI)] بشكل منفصل، إلى نتائج مشابهة، وقد أكد توافق الدراستين على صحة النتائج.

والأمر الذي يبعث الرضا بشكل خاص عن هذه النتائج هو إمكانية قياس بصمة التحصين في مجرى الدم، والناجمة عن الاستجابة الموضعية للمناعة عند موضع التطعيم. فمن حيث المبدأ، تعني هذه الاكتشافات أنه من الممكن تطوير فحص تشخيصي بسيط كأخذ عينة دم من رأس الأصبع لمعرفة درجة جودة عمل اللقاح. ولا يتطلب الأمر سوى القليل جدا من التدريب أو الأجهزة المعقدة

(١) antibody: جسم مضاد أو ضد، وجمعها أجسام مضادة أو أضداد. (التحرير)



لجمع وتحليل البيانات - وهذا أمر مهم عند الأخذ في الحسبان أنّ الفيروس HIV والملاريا والسل تؤثر أكثر ما تؤثر في أكثر الأماكن فقرا في العالم.

التصدّي لفيروس عوز المناعة البشرية المكتسب (HIV) ومتلازمة عوز المناعة المكتسب (الإيدز)(**)

بعد البرهان على أنّ أسلوب بيولوجيا النُّظُم يمكنه أن يقدّم صورة مفصّلة عن تأثير اللقاحات الناجحة في الجهاز المناعي، اشتركتُ مع مجموعة من الزملاء للتصدّي لمشكلة الفيروس HIV. ولعل أفضل الخطوات التالية التي كان يمكن اتخاذها هي المقارنة بين تركيب عدد من اللقاحات لمعرفة ما إذا كان أحدها يؤدي إلى استجابة مناعية نموذجية. ولكننا لم نعرف ولا نعرف ذلك حتى الآن. ففي الحقيقة كيف تبدو الاستجابة المناعية النموذجية للفيروس HIV، لذا فإن معرفة مثل هذه البصمة هي من أهم الأهداف الرئيسة لنا في الوقت الحاضر. وقد بدأنا بالبحث عن بعض الأدلة في الحيوانات.

أظهرت التجارب أنّه يمكن للقردة أن تُصاب بالإنتان **بفيروس عوز المناعة القردي** (SIV)[(1)]، والذي يتشابه في أوجه كثيرة مع الفيروس HIV. وهذه القابلية مهمة لأننا نستطيع أن نَتَعَمّد نقل الإنتان إلى القردة عند إجراء الدراسات، في حين لا يمكننا فعل ذلك من الناحية الأخلاقية مع البشر.

وبالتعاون مع <L. بيكر> [من جامعة أوريگون للصحّة والعلوم]، و<R. سيدر> [من المعاهد الوطنية للصحة] يقوم حاليا باحثون في معهد سياتل للبيولوجيا الطبية باختبار عدد من لقاحات الفيروس SIV على القردة، للتعرّف بشكل أكبر على سمات مناعية ترتبط باستجابة مناعية قوية ضد ذلك الفيروس. وقد تمكنّا حتى الآن من تعرف بصمات عدة من الاستجابات المناعية الذاتية والمبكرة التي يمكنها أن تتوقع أي الحيوانات التي جرى تلقيحها هي التي سوف يحوي دمها كمية أقل من الفيروسات، بعد أن يتم تعريضها بالتتابع للفيروسات SIV.

وتظهر هذه الجينات - التي يرتبط التعبير عنها بارتفاع قدرة الجسم على محاربة الفيروس - كأنها مجموعات من العقد الشديدة الترابط عند تمثيلها في

(*) Signatures of Success
(**) TACKLING HIV / AIDS
(1) simian immunodeficiency virus

رسم بياني يُظهر استجابة الجسم المناعية؛ فالعقد تمثل جينات منفردة، وتمثل الصلات بين العقد تأثير هذه العقد في أنشطة بعضها بعض [*انظر الإطار في الصفحتين 36 و37*]. ولما كانت القردة والبشر يتشاركان في الكثير من الجينات ذاتها، فإن سمات الاستجابة المثلى لدى القردة قد تعطينا فكرة عن كيف يجب أن تبدو بصمة الاستجابة القوية ضد الڤيروس HIV، كما قد تستخدم هذه البصمة أيضا في تقييم مقدرة عدد من اللقاحات المختلفة على العمل في البشر.

يُتابع الباحثان «پيكر» و«سيكالي» إحدى المسائل المرتبطة بذلك. فهما يُطبِّقان مقاربات مستويات النُّظم لمعرفة السبب الذي يجعل اللقاحات المصنوعة من الڤيروسات SIV المضعفة جيدة في حماية الرئيسيات من غير البشر من أي إنتان لاحق. ومع الأسف، فحتى استخدام الڤيروسات المضعفة من الڤيروس HIV يشكل خطرا كبيرا. فمع مرور الوقت، قد تمتزج هذه الڤيروسات المُضعفة في ڤيروسات قوية وتؤدي إلى الإصابة بالمرض الذي كان من المفترض أن تحمي الناس منه. (لهذا جرى استبعاد الأشكال الحية من لقاح شلل الأطفال في الولايات المتحدة الأمريكية)، وينبغي أن يرشدنا النجاح إلى طرق إحداث استجابة مناعية في الجسم مماثلة للمناعة التي تُحدثها الڤيروسات المُضعفة من دون المخاطرة باستخدام هذه الڤيروسات في اللقاح.

تعلّم من الإخفاق(*)

والآن، أثبت العلماء من مختلف المؤسسات العلمية إمكانية نجاح **مقاربة النُّظُم**(1) في العديد من مراحل تطوير اللقاح. فقد طورنا البصمة المناعية للقاح YF-17D الذي يوفر وقاية كاملة. وقد طورنا السمات المناعية لقردة تم تطعيمها بنجاح. ولكن ما زال هناك عدد آخر من الأسئلة المحيرة التي نأمل بحلها قبل الشروع في تطوير لقاح جديد للڤيروس HIV. ومن بين هذه الأسئلة: هل يمكننا أن نشرح بدقة سبب إخفاق اللقاح الذي طورته شركة ميرك ضد هذا الڤيروس في عام 2007 — وهو إخفاق صدم مجتمع الإيدز، وأصاب في مقتل ما بدا أنه أكثر اللقاحات المرجوة المرشحة لمواجهة هذا المرض؟

فاللقاح الذي طورته شركة ميرك والمُسمى MRKAd5/HIV-1، لم يكن بالطبع اللقاح الأوّل الذي جُرّب ضد الڤيروس HIV. فقد ركزت التجارب السريرية السابقة على تحفيز استجابة بأضداد فعّالة تمحو بالكامل جميع جُسيمات الڤيروس قبل أن تتمكن من السيطرة على الجسم. ومع الأسف، فإنّ استراتيجيتين اثنتين من أصل الاستراتيجيات الثلاث الرئيسة لتوليد مثل هذا اللقاح لم تكن متاحة. فاستخدام نسخة مُضعفة من هذا الڤيروس كان مشوبا بخطر كبير، بينما فشلت استراتيجية استخدام جسيمات مُعطّلة بالكامل من الڤيروس في إنتاج الأنواع الصحيحة من الأضداد. وبقيت الاستراتيجية الثالثة وهي استخدام شذرات متناثرة من الڤيروس HIV إما مستقلة عن غيرها وإما مُرتبطة بڤيروس آخر (وذلك من أجل تحريض النشاط المناعي). وللأسف، حتى هذه الأنواع من اللقاحات لم تستطع حتى الآن إنتاج **استجابة ضدّية**(2) فاعلة ومؤكدة. (وقد أظهرت النتائج التي نشرت في عام 2009 عن تجربة اللقاح في تايلاند استجابة ضدّية متواضعة الفعّالية لم تكن فوائدها عامة بما يكفي لحماية كل الأفراد، ممّا دعا جميع الباحثين إلى الاقتناع بأنّ هذا اللقاح يحتاج إلى تحسين).

وقد غيّر المشروع MRKAd5/HIV-1 من مساره. فعوضا عن محاولته إثارة استجابة ضدّية قوية، فإنه هدف إلى تنشيط الخلايا التائية القاتلة في الجهاز المناعي التكيفي. وكما كانت الحال في المحاولات السابقة، استخدم اللقاح الذي طورته شركة ميرك مستضدات نوعية للڤيروس HIV تم تركيبها للحصول على ڤيروس أكثر أمانا — فقد اختير النمط 5 من الڤيروسات الغدّانية الذي أطلق عليه الرمز Ad5 — تجنبا للمشكلات التي ترتبط باستخدام جُسيمات كاملة للڤيروس HIV (والڤيروسات الغدّانية من المسببات الشائعة للزكام). وقد أدرك علماء المناعة أنّ جهودهم — حتى ولو نجحت بالكامل — لن تستطيع أن تمنع الڤيروس من إصابة الخلايا؛ كما ينبغي وجود الأضداد لتحقيق ذلك الهدف. لكن جهودهم سوف تتمكن على الأقل من الإبقاء على تكاثر الڤيروسات في حدّه الأدنى، وذلك بقتلها الخلايا المُصابة. ومن الناحية النظرية، سوف يسمح اللقاح لكل من يتعرض للإصابة بالڤيروس HIV أن يحارب الڤيروس ويوقفه إلى أجل غير مُسمّى.

وقد كان هذا الأسلوب يمثل آخر ما توصلت إليه الأبحاث، إذ سوف تكون هذه الدراسة أوّل تجربة تجرى على نطاق واسع للقاح صُمِّم نوعيا لتفعيل الخلايا التائية

(*) LEARNING FROM FAILURE
(1) systems approach
(2) antibody response

لقتل الخلايا المصابة بإنتان الڤيروس HIV. وقد أشارت الدراسات الرائدة التي أجريت على الرئيسيات غير البشرية بقوة إلى أنّ هذا اللقاح سوف يقدّم مستوى ما من الحماية للبشر.

وكان من غير المتوقع أن يخفق اللقاح الذي طورته شركة ميرك. فعلى الرغم من نجاح اللقاح في تحريض استجابة الخلايا التائية بدقة ضد الخلايا المصابة بإنتان الڤيروس HIV في أكثر من 75 في المئة من الأشخاص الذين أجري عليهم الاختبار (وهي نتيجة مدهشة بحق)، أظهرت التحاليل الأولية للبيانات عدم اختلاف نسبة الإنتان بالڤيروس ومستويات الڤيروسات في الجسم بين المجموعة التي أعطيت اللقاح والمجموعة التي أعطيت مادة **غُفلا** Placebo. ومما أثار قدرا أكبر من الدهشة، أنّ المشتركين الذين تناولوا اللقاح، وهم ممن يحملون أضدادا للڤيروس الغدّاني Ad5 (نتيجة لتعرضهم السابق لإنتان بالڤيروس الغداني من النمط 5 غير ذات صلة بالڤيروس HIV)، أظهروا ميلا إلى الإصابة بالإنتان أكثر من الأشخاص في المجموعة التي تلقت المادة الغُفل.

لقد قمنا بتشكيل فريق مشترك مع <J. ماكيلراث> من [مركز فرد هاتشنسون لأبحاث السرطان في سياتل] لتحليل اللقاح الذي طورته شركة ميرك. وقد اتفقنا معا في تحليلنا على أنّ التعرّض للقاح MRKAd5/HIV-1 قد فعّل عمل آلاف الجينات خلال الـ 24 ساعة الأولى بعد التلقيح. وتنسجم هذه الاستجابة على نحو استثنائي بتفعيل نسبة عالية من الخلايا التائية. وقد توصلنا أيضا إلى معرفة أنّ هذه الجينات تتضمن جميع الأطراف الرئيسة المعنية في الجهاز المناعي الذاتي. ولكن عندما قمنا بفحص عينات الدم المأخوذة من الأشخاص المشتركين في الدراسة، والذين يحملون أضدادا للڤيروس الغدّاني Ad5 (وهم من المجموعة نفسها من الأشخاص الذين أظهروا معدلا أكبر للإصابة بإنتان الڤيروس HIV بعد تعرضهم للتلقيح)، وجدنا أنّ تحفيز عمل الجهاز المناعي الذاتي قد أضعف بشدة.

الاحتمال الأكبر هنا، أنّ ضعفا خطرا – لم يكن متوقعا على الإطلاق – قد جعل من أولئك المتطوعين في الدراسة عرضة للإنتان عندما مارسوا الجنس مع شركاء مصابين بالڤيروس HIV، أو تشاركوا معهم في الحُقن الملوثة. ونقوم حاليا بإجراء دراسات جديدة لنرى ما إذا كنا قادرين على تأكيد هذه الفرضية وتفسير سبب إخفاق الاستجابة القوية للخلايا التائية في توفير الحماية لأيّ من الأشخاص المشتركين في الدراسة.

خطوات تالية(*)

في الوقت الحاضر يبدو أن المقاربة القائمة على النُّظُم هي أفضل ما يناسب الاختبارات التجريبية للّقاحات بعد تشكيلها من أجل التحقّق من قدرتها على توفير حماية فاعلة. غير أنّ الهدف المنشود في النهاية هو تصميم لقاحات بأسلوب جديد من البداية إلى النهاية، بحيث نعرف مسبقا أنّها سوف تحفز الاستجابات المناعية المرجوة.

لقد تمكن العلماء من إحراز تقدم ملحوظ في هذا المسار– مثل، التقدم في فهم آلية تأثير بعض المواد المُساعدة في اللقاحات في الجهاز المناعي. وقام فريق <A. أديريم> بدراسة الشبكات الجينية التي جرى تفعيلها بمنظومة واسعة من المواد المساعدة، ومن الواضح أنّ بعض المواد المساعدة المناعية قد **أطلق** trigger عمل بعض الجينات التي تقوم باستثارة استجابات الخلايا التائية، بينما قامت شبكات جينية أخرى بحرف مسار الشبكات المناعية نحو إنتاج الأضداد. ولكن من الممكن جدا أن نتوصل إلى **استمثال** optimize إنتاج لقاحات خاصة ضد مُمْرِضات معينة، وذلك من خلال دمج معارفنا التفصيلية حول المواد المساعدة في معرفتنا بالبصمات الجزيئية الدقيقة والخاصة باستجابة مناعية معينة.

وفي جميع الأحوال، أشارك زملائي اعتقادهم أن المقاربة المستندة إلى النُّظُم تمنح الأمل الأكبر للتوصل إلى تصميم لقاح أكثر استهدافا ويمكن التنبؤ بنتائجه. وإنّ الفهم الأفضل للجهاز المناعي هو السبيل الوحيد لابتكار لقاحات فاعلة ضد هجمات الأمراض الضارية مثل الإيدز والملاريا والسل. وقد تمكنت هذه المُمْرِضات التي تسبب مثل هذه الجائحات الوبائية حتى الآن، من إحباط أقصى الجهود التي بذلناها لتطوير اللقاحات بالطريقة التقليدية. ولكننا ببساطة، لا يمكن أن نسمح بموت عشرات الملايين من الأشخاص من الأجيال القادمة بمثل أمراض الطواعين العالمية هذه. ■

(*) NEXT STEPS

مراجع للاستزادة

The Failed HIV Merck Vaccine Study: A Step Back or a Launching Point for Future Vaccine Development? Rafick-Pierre Sekaly in *Journal of Experimental Medicine*, Vol. 205, No. 1, pages 7–12; January 21, 2008. http://jem.rupress.org/content/205/1/7.full

Alan Aderem: From Molecules to Megabytes. Nicole LeBrasseur, *ibid*, pages 4–5.

Systems Biology Approach Predicts Immunogenicity of the Yellow Fever Vaccine in Humans. Troy D. Querec et al. in *Nature Immunology*, Vol. 10, No. 1, pages 116–125; January 2009. Published online November 23, 2008. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19029902

Scientific American, May 2011

ثورة الغذاء الأزرق(*)

مزارع سمك جديدة في عمق البحر وعمليات أنظف على طول الشاطئ، يمكن أن تزود العالم بمصدر غني لحاجته الشديدة إلى البروتين.

<S. سيمپسون>

يرعى <N. سيمز> قطيعه المشاكس كأي مزارع متفان؛ ولكن عوضا عن امتطاء حصانه كرعاة الغنم الأستراليّين الذين ترعرع بينهم، فإنّه يرتدي قناع الغوص وقصبة التنفس ليرعى قطيعه المكون من 000 480 سمكة فضيّة والمحوّط بأقفاص تبعد مسافة نصف ميل من شاطئ كونا Kona، أكبر جزر هاواي.

وتعد مزرعة <سيمز> المخبّأة تحت الأمواج واحدة من 20 عمليّة عالميّة تحاول أن تستفيد من آخر التخوم الزراعية على الكرة الأرضية وأعظمها: ألا وهو المحيط. فموقعها البعيد عن الشواطئ يميّزها بسمة نادرة عن الآلاف من أحواض مزارع السمك التقليديّة التي هي عبارة عن سلسلة من الحظائر الشاطئية المعانقة للشواطئ. وهذه الحظائر الشاطئية لاستزراع السمك تثير في العادة الاستياء لبشاعة منظرها ولتلويثها مياه البحر لما ينتج منها من فضلات الأسماك وبقايا الطعام التي تعكر المياه الضحلة الهادئة، وتزيد من تكاثر الطحالب الضارة الذي يقضي على بقية الأحياء البحريّة، ويعمل على نفوق الكائنات الحية التي قد تعيش تحت تلك الحظائر. ويبين <سيمز> أنه في المواقع البعيدة عن الشاطئ - **كمزارع المياه الزرقاء في كونا**(1) - لا يعد التلوث مشكلة. فالحظائر السبع المغمورة تحت المياه والتي يبلغ حجم الواحدة منها حجم صالة رياضة مدرسيّة، مثبتة في قاع البحر بين التيّارات السريعة التي تزيل الفضلات وتخفف من تركيزها بسرعة إلى مستويات أقل ضررا في البحر الجاري.

وللتحقق مما ذكره <سيمز>، قمت بارتداء زعانف السباحة وقناع وقصبة التنفس على رقبتي، وصعدت على حفّة مركب الخدمة الصغير، ثم قفزت. في الماء، بدا لي القفص المخروطي الطرفين منيرا مثل مصباح صيني عملاق وسط أشعة الشمس المتدفقة والأجسام البراقة للأسماك المسرعة بداخله. وعند تحسس المادة المشدودة على امتداد أطراف الهيكل الخارجي، فإنها تبدو كما لو كانت سياجا أكثر منها شبكة. وتمنع ألياف مادة **الكڤلار إيسك** Kevlar-esque الصلبة أسماك القرش الجائعة من دخول القفص بالكفاءة نفسها التي تحوي بها العدد الهائل من سمك ***سريولا ريڤوليانا*** *Seriola rivoliana*، وهو نوع محلّي من السمكة **صفراء الذيل**(2) التي تربيها مزرعة كونا بلو بدلا من أسماك التونا البريّة.

ولكن لماذا صفراء الذيل؟ لأنّ العديد من مصايد أسماك التونا البرية آخذة في التدهور، ولارتفاع ثمن سمكة صفراء

(*) THE BLUE FOOD REVOLUTION
(1) Kona Blue Water Farms
(2) Yellowtail

باختصار

في الوقت الذي يزداد فيه استهلاك اللحوم في العالم - وما يستلزمه إنتاجها من طاقة ومياه وانبعاثات - ومع تناقص صيد السمك، قد يصبح استزراع السمك مصدر البروتين الأكثر استدامة للإنسان.

لقد صار استزراع السمك يوفر نصف كمية الإنتاج الكلي من المأكولات البحرية. ولكن، بما أن معظم هذا الاستزراع يجري بالقرب من السواحل، فإنه يسبب قدرا ملحوظا من تلوث المياه.

والمزارع الكبيرة والبعيدة عن الشواطئ والمثبتة في قاع البحر غالبا ما تكون أنظف. ويمكن لهذه المزارع، وهي أشكال جديدة للزراعة المائية، ولعمليات تنظيف السواحل أن تنتشر على نحو ملحوظ.

ويبقى السؤال عن مدى استدامة هذه المزارع وفعاليتها الاقتصادية.



قد يصبح استزراع السمك - مثل السمكة صفراء الذيل yellowtail في المزارع Blue Water Farms بالقرب من هاواي - في أقفاص في عمق البحر المصدر الأكثر استدامة لإنتاج البروتين للاستهلاك البشري بما هو أكثر مما يوفره صيد السمك أو إنتاج اللحوم.

الذيل الملائمة لإعداد أطباق السوشي. وقد أسّس <سيمز> وزميله <D. سارڤر> [عالم الأحياء البحرية] كونا بلو في عام 2001 لاستزراع أنواع السمك المرغوبة كثيرا باستخدام طرق مستدامة. إلاّ أنه يمكن أيضا تطبيق طرق هذه الشركة لتربية الأسماك العادية التي قد نحتاج إليها. فعدد سكان العالم الذي يتجاوز حاليا 6.9 بليون نسمة سوف يرتفع إلى 9.3 بليون بحلول عام 2050، والناس الذين يتمتعون بمستويات معيشية مرتفعة يميلون بازدياد إلى تناول كميات أكبر من اللحوم والمأكولات البحرية. ومع ذلك لم يتغير مردود الصيد البحري العالمي خلال العقد الماضي، بل إنه آخذ في التناقص. كما أن تربية الأبقار والدجاج والحيوانات الأخرى تستلزم مناطق شاسعة من الأراضي والمياه العذبة والوقود الأحفوري الذي يلوّث الهواء والسماد الذي يُرمى في الأنهار والمحيطات فيخنقها.

فمن أين لنا بالبروتين كله الذي نحتاج إليه نحن البشر؟ قد يكمن الحل في المزارع المائيّة الجديدة البعيدة عن السواحل فيما إذا صَلُح تشغيلها، والمزارع الشاطئية فيما إذا كانت قابلة للتنظيف.

الأنظف هو الأفضل(*)

في نظر بعض العلماء تستلزم دعوات إطعام العالم تحويل إنتاج بروتيننا الحيواني إلى البحار. ولكن كي تستطيع ثورة الطعام الأزرق أن تملأ هذا الطبق الكبير على طاولة العشاء، عليها أن تعمل وفقا للطرق البيئية السليمة، وأن توصل مزاياها إلى أسماع جمهور منهك وإلى صناع القرار القادرين على مساعدة أو إعاقة انتشار هذه الطرق.

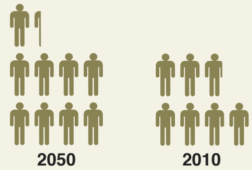
في الماضي ربما كان الاستنكار محقا. فعندما نشأت مزارع السمك الشاطئيّة الحديثة قبل 30 سنة، لم تكن الأمور تجري على نحو صحيح من الناحية البيئية ولا حتّى من ناحية استدامة الصناعة. فقد كان الصرف الصحي لفضلات الأسماك أحد أكبر المشكلات. فقد قام مزارعو الربيان (الروبيان) في شمال شرق آسيا والمكسيك بالقضاء على غابات **القرم** (**المنگروف**) mangrove الساحلية لإنشاء

(*) CLEANER IS BETTER

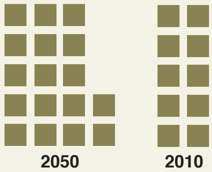
إنتاج البروتين: بر أم بحر؟(*)

تزداد حاجة العالم إلى البروتين

بازدياد عدد سكان العالم من 6.9 إلى 9.3 بليون نسمة بحلول عام 2050.



لابد من زيادة مساحة المناطق الزراعية والمراعي بنسبة 50% إلى 70% لسدِّ حاجة السكان إلى الطعام في عام 2050، وهذا أمر يصعب تحقيقه في الوضع الحالي.

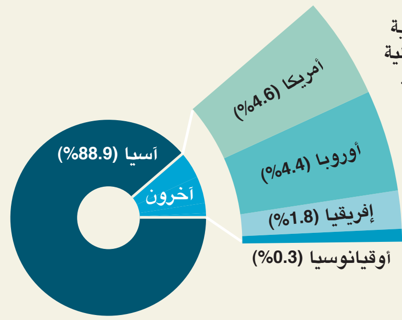




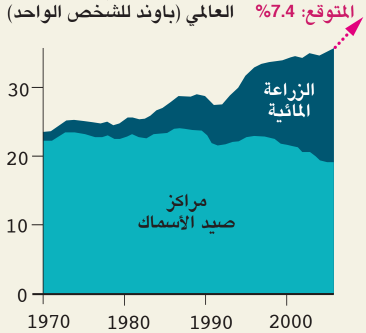
تزود الأسماك 7% فقط من البروتين العالمي.

من أين لنا بالبروتين؟

تنتج معظمه البلدان الآسيوية من الزراعة المائية للسمك والمحار.



وتنتج الزراعة المائية 47% من الحاجة الكلية إلى المأكولات البحرية للبشر. وتستطيع أن تزود على نحو مستديم 62% من البروتين العالمي الكلي بحلول عام 2050 فيما إذا استمرت بالنمو بالمعدل الحالي نفسه الذي يبلغ 7.4%، واستمرت الزراعة بالنمو بمعدل 2.0%.



برك لتربية الروبيان. وفي مزارع تربية السلمون في أوروبا والأمريكتين كانت الأسماك تحشر ضمن مساحات ضيّقة مما ساعد على تفشي الأمراض والطفيليّات في تلك المزارع. وعند هروب بعض الأسماك من المزارع كانت أحيانا تنشر أمراضها إلى الأنواع المحليّة من الأسماك. والأسوأ من ذلك هو أنّ الزراعة المائية كانت ولا تزال قطبا يستنزف الكتلة السمكية: فالسمك المستخدم كعلف في استزراع السمك هو عبارة عن أسماك صغيرة من الأنواع الأرخص التي لا يُقبل عليها البشر ولكن تتغذى بها الأسماك الكبيرة، لذا تُصطاد بكميات كبيرة وتطحن لتغذية الأسماك الكبيرة الألذ طعما والأغلى ثمنا التي تُستزرع لإرضاء ذائقة المستهلك.

ومن الواضح أن مثل هذه المشكلات لم تكن في صالح الأعمال التجارية، لذا طورت الصناعة حلولا مبتكرة. فاستراتيجية كونا بلو من إقامة مزارع السمك في المناطق البعيدة عن الشواطئ ووسط التيّارات السريعة، هي أحد هذه الحلول. في حين يقوم مزارعون آخرون باستزراع الأعشاب البحرية والحيوانات التي تتغذى بفلترة المياه مثل الرخويّات بالقرب من حظائر الأسماك كي تلتهم الفضلات. وقد أدخلت تحسينات على نواح متعددة من هذه الصناعة – بما في ذلك **حظائر**(1) المياه العذبة، وتحسينات في تربية الحيوانات وابتكار تركيبات طعام تَحُدُّ من الأمراض وتساعد الأسماك على النمو سريعا وبكميات أقل من العلف. ومع ذلك قد تطول المدة قبل أن ترفع المجموعات الناشطة بيئيا السمك المستزرع من قوائم «لا تشتر».

هذا وقد عمد بعض المفكرين المبدعين إلى تجربة طرق أكثر جرأة. يحق لكل أمّة إدارة مسافة 200 ميل بحري اعتبارا من شواطئها، وتلك مساحات شاسعة غير مستغلة بعد في إنتاج الطعام للبشر. وتقدر المساحة المائية المحيطة بالولايات المتحدة بنحو 3.4 مليون ميل مربع بحري. ويمكن إقامة حظائر أسماك مغمورة في مياه المحيط ومزودة بمحركات كبيرة لتسبح في تيارات هذا المحيط الدائمة، ومن ثم ترجع بعد عدة أشهر إلى نقطة البداية أو إلى مناطق بعيدة كي تورّد السمك الطازج إلى أسواقها.

وفي أواخر عام 2008، قام مهندس المحيط <C. گودي> [المدير السابق لمركز هندسة الاستزراع المائي في المعهدMIT] بتجربة أول حظيرة سمك مغمورة ذاتية الدفع في العالم، وذلك قبالة شاطئ بورتريكو. يقول <گودي>: إن الحظيرة، وهي على شكل قفص منحني السطوح قطره 62 قدما، قد برهنت على

(*) Protein Supply: Land or Sea?

(1) أو: مرابد، ج: مربد pen = حظيرة.

تمتلك الولايات المتحدة إمكانات محتملة واسعة



قدرتها المدهشة على المناورة عندما زوِّدت بزوج من مراوح الدفع طول كل منها ثمانية أقدام. ويعتقد ‹گودي› بأنه من الممكن إطلاق عشرات المزارع المتحركة تباعا –كل تسعة أشهر– في التيارات البحرية التي يمكن التنبؤ بحركتها أثناء عبورها البحر الكاريبي.

سُعار إطعام(*)

إن الجانب الذي يصعب معالجته في استزراع الأسماك البحرية (مياه مالحة) هو الحاجة إلى استخدام أسماك صغيرة برية لإطعام الأسماك الكبيرة، ولا تستزرع الأسماك الصغيرة بسبب وجود صناعة تقوم بصيدها وطحنها لتصنع منها علف الأسماك الكبيرة واستخلاص زيت السمك. وقد أدركتُ حجم مشكلة علف الأسماك عندما صعدت مع ‹سيمز› على متن باخرة نقل أمريكية قد تم تحويلها ببراعة من سفينة حربية إلى بارجة لشحن الغذاء. لقد كانت أمواج البحر تدفعني جانبا وأنا في طريقي نحو مقدمة السفينة، مما ذكرني بالرحلة المتعبة في الشاحنة التي استقليتها منذ زمن عبر مراعي ميزوري شبه المتجمدة، وذلك في طريقي إلى توصيل العلف إلى مزارع الماشية التي يمتلكها ابن عمي. واختفت ذكرى الرائحة الجميلة للعشب الجاف عندما اغترفت كبشة من كيس مفتوح ترك على المرفأ، يحوي الكيس 2000 باوند من العلف الزيتي البني اللون. كانت حبيبات العلف تبدو ككسر طعام الكلاب ولكن برائحة كرائحة علبة **أنشوا**[1] فارغة.

لم تكن الرائحة مفاجئة لي، إذ إنّ 30 في المئة من طعام كونا بلو مكون من أنشوا مستورد من بيرو. وقد بيّن ‹سيمز› أن السمكة **صفراء الذيل** تستطيع أن تقتات بحمية نباتية ولكنها في هذه الحالة لن يكون مذاقها لذيذا، ولن تحتوي لحومها على الأحماض الدهنية والأمينية التي تجعل هذه اللحوم مفيدة للصحة. فهذه المكونات لا تتأتى إلا من وجبات السمك وزيت السمك، وهنا تكمن المشكلة. ويقول ‹سيمز›: «إن ما يغضبنا حقا هو أننا مضطرون إلى قتل بعض الأسماك لتغذية أسماك أخرى.» وتواجه مزارع السلمون الساحلية الغضب الشديد لهذا السبب نفسه.

ويخشى النقاد من أن يؤدي الطلب المتزايد من مزارع السمك إلى القضاء على الأنشوا البري والسردين والأسماك الأخرى التي تستخدم كغذاء. فقبل البدء بإنشاء مزارع السمك الحديثة، كانت أغلب وجبات العلف هذه تعطى للخنازير والدجاج، ولكن الزراعة المائية اليوم تستهلك 68 في المئة من العلف. ومع ذلك فقد تقلص الاستهلاك مؤخرا مع تحسين تركيبات العلف. فعندما بدأت كونا بلو بتربية السمكة صفراء الذيل في عام 2005، كانت حبيبات العلف تتكون من 80 في المئة من الأنشوا. ومع بدايات عام 2008 كانت الشركة قد تمكنت من تقليل هذه الحصة إلى 30 في المئة، وينوّه ‹سيمز› بأن كل هذا قد حصل من دون التضحية بالمذاق أو الفوائد الغذائية المعهودة، وذلك عن طريق زيادة تركيز كمية فول الصويا وإضافة **زيت الدجاج**[2] وهو منتج ثانوي من صناعة الدواجن. ويعد هذا الخليط في وجبات العلف إنجازا مهما مقارنة بالطريقة المزدراة التي تنتهجها مزارع السمك التقليدية، وتقوم على إلقاء السردين كاملا في أحواض السمك. ومن المؤسف أن هذه العادة المسرفة تبقى الخيار المتّبع بين المزارعين الأقل شعورا بالمسؤولية.

إن هدف الملاك الواعين هو تحقيق التعادل، وذلك عن طريق الموازنة بين كمية السمك المستخدم في العلف ووزن السمك

(*) FEEDING FRENZY
(١) anchovy أو أنشوڤي: أسماك صغيرة تخلل وتؤكل كمقبلات.
(٢) chicken oil

المنتج للتسويق. وقد تمكن مزارعو أسماك **البلطي** tilapia و**القرموط** catfish التي تعيش في المياه العذبة من تحقيق هذه النسبة السحرية، في حين عجز مزارعو الأسماك البحرية عن تحقيق ذلك، لأن 70 في المئة من علف كونا بلو يتألف من البروتين والزيت النباتيين، ومن ثمّ لابد من استخدام ما يعادل 1.6 إلى 2 باوند من الأنشوا لإنتاج باوند واحد من السمكة صفراء الذيل، في حين أن المتوسط في استزراع السلمون هو نحو 3 باوندات. ويجب على هذه الصناعة أن تقلل هذه النسبة لتجنب أي خسارة في توازن البروتين البحري. ولكن لا يزال السمك المستزرع يستهلك نسبة علف أقل من أمثاله من السمك البري، إذ يستهلك سمك التونا في الطبيعة يوميا ما مقداره 100 باوند من الطعام لكل باوند من وزنه، وجميع غذائه من السمك.

هذا وسيزداد الضغط للتقليل من صيد السردين والأنشوا مع ازدياد عدد مزارع السمك. فالزراعة المائية هي أسرع قطاعات الإنتاج الغذائي نموا في العالم، إذ تزداد بنسبة 7.5 في المئة سنويا منذ عام 1994. وبذلك المعدل السريع، قد تُستنفد بحلول عام 2040 جميع الموارد المتاحة لوجبات السمك وزيته. إذ يؤكد <M .C. دوارتي> [عالم إيكولوجيا البحار الذي يرأس المختبر الدولي لدى المجلس الإسباني للبحث العلمي في مايوركا] أن أقصى ما نسعى إليه هو عدم استخدام السمك البري في العلف بتاتا وذلك خلال عقد من الزمن أو نحو ذلك.

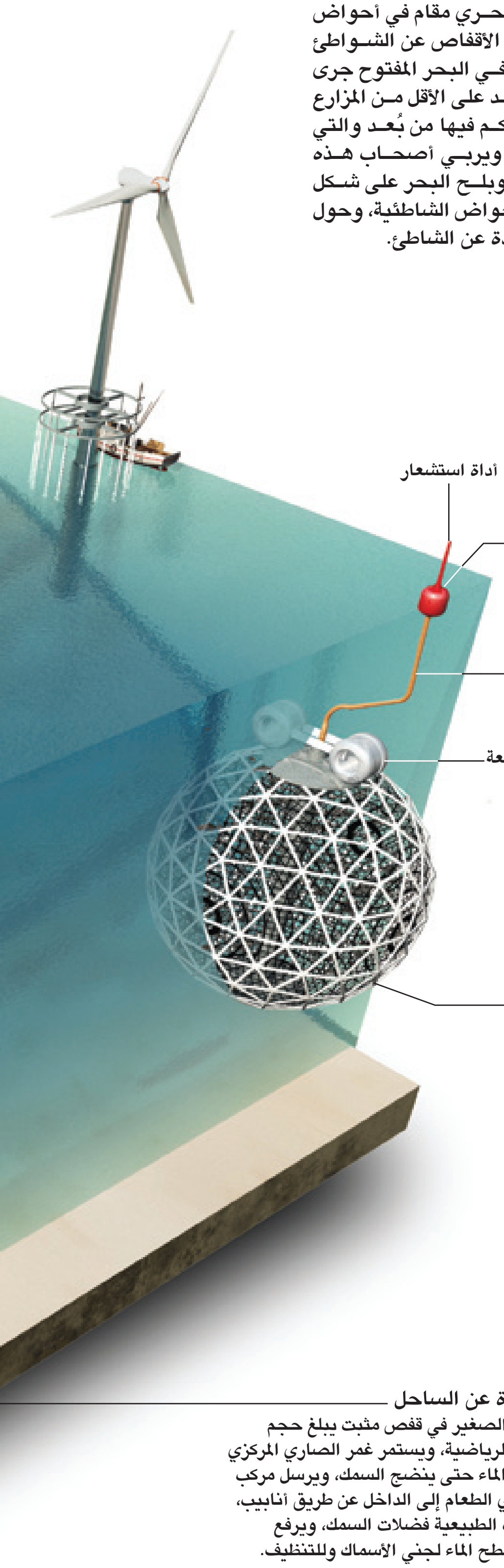
وأحد الحلول التي قد تساعد على تحقيق ذلك هو استخلاص **الحمض الدهني** DHA من مجموعة دهون **أوميگا3** من الطحالب الميكروسكوبية، التي قد تستخدم كبديل غذائي للأسماك. وتقوم شركة التغذية البيولوجية المتقدمة ABNC في ميريلاند، بتجربة علف يحتوي على الحمض الدهني DHA نفسه المستخدم في تعزيز أغذية الأطفال الصنعية كالحليب والعصير من المنتجات التي تُباع في الأسواق. كما تمكن الباحثون في منظمة الكومنولث الأسترالي للبحث العلمي والصناعي ولأول مرة من استخلاص الحمض DHA نفسه من النباتات التي تنبت في اليابسة. ويرى <ديوارتي> أن التنافس الشديد على الأراضي الزراعية ومزارع المياه العذبة يعني أن مزارعي السمك في نهاية الأمر سيستغنون عن فول الصويا وزيت الدجاج وغيرها من منتجات اليابسة، وعوضا عن ذلك سيطعمون أسماكهم العوالق والأعشاب البحرية التي تسهل زراعتها (علما بأن الأعشاب البحرية تشكل نحو ربع الزراعة البحرية).

(*) Five Ways to Raise Seafood

كيف تعمل

خمس طرق لتربية الطعام البحري(*)

إن معظم مزارع السمك البحري مقام في أحواض شاطئية، ولكن يزداد بُعد الأقفاص عن الشواطئ على نحو مستمر. وبعيدا في البحر المفتوح جرى تجريب نموذج أولي واحد على الأقل من المزارع المسيجة والمتنقلة والمتحكم فيها من بُعد والتي تدار عن طريق مراوح. ويربي أصحاب هذه المشاريع أعشابا بحرية وبلح البحر على شكل صفوف وضعت بجانب الأحواض الشاطئية، وحول التوربينات الهوائية البعيدة عن الشاطئ.



أقفاص البحر المفتوحة
في المستقبل، قد تستطيع سلسلة من الأحواض المتنقلة والمغمورة بالماء والمتحكم فيها من بعد وتدار عن طريق مراوح أو دافعات، ركوب تيارات متوقعة، لتصل بعد عدة أشهر إلى مناطق بعيدة تكبر أثناءها الأسماك. وقد توزع آلات العلف المخزن في الصاري المركزي.

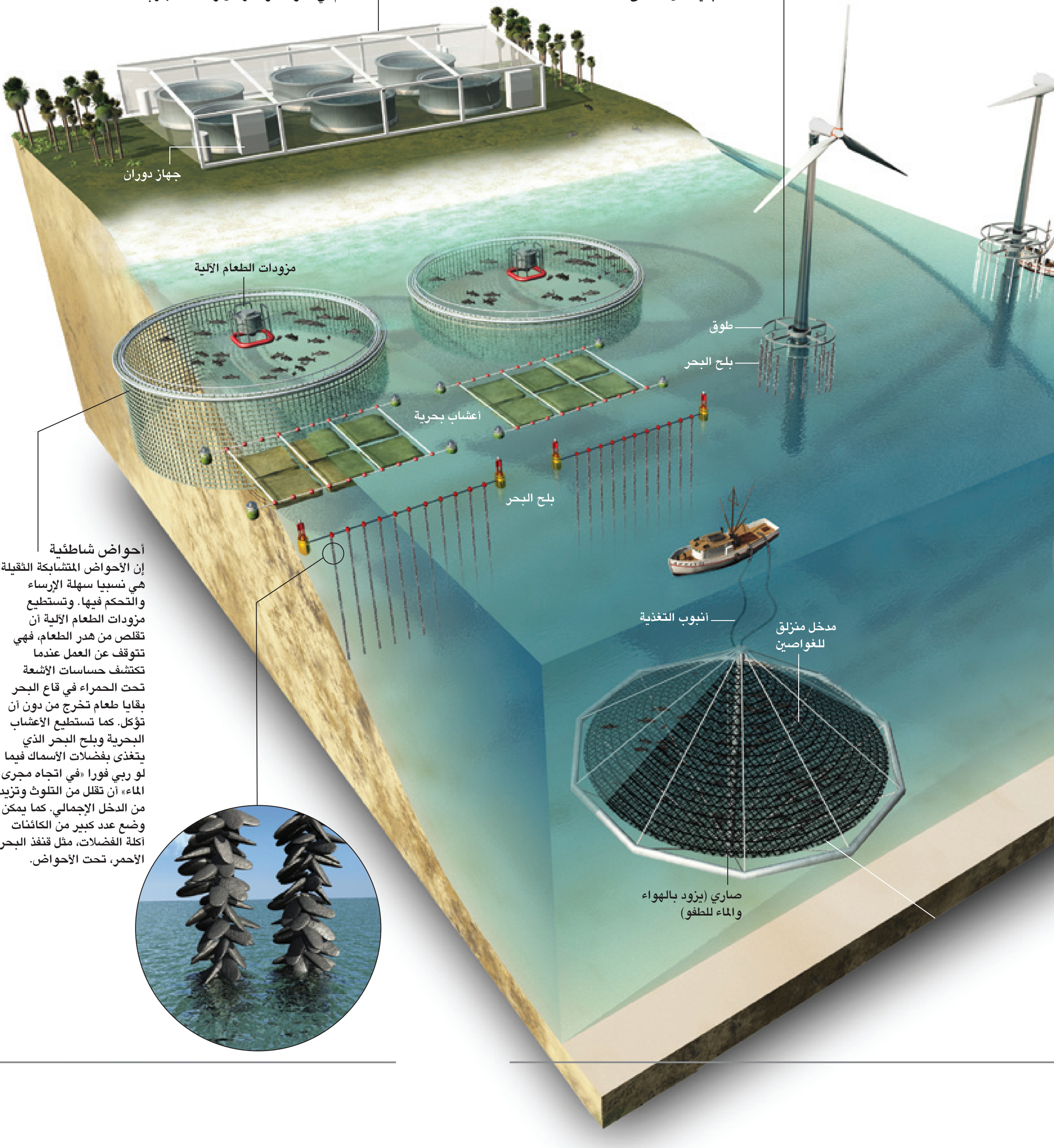
أقفاص بعيدة عن الساحل
يوضع السمك الصغير في قفص مثبت يبلغ حجم صالة الألعاب الرياضية، ويستمر غمر الصاري المركزي للحوض تحت الماء حتى ينضج السمك، ويرسل مركب أو زورق بخاري الطعام إلى الداخل عن طريق أنابيب، وتزيل التيارات الطبيعية فضلات السمك، ويرفع الحوض إلى سطح الماء لجني الأسماك وللتنظيف.

البرك الشاطئية

يفقس جميع السمك البحري في برك على اليابسة، ثم ينقل العديد منه إلى أحواض في البحر عندما تصبح الأسماك كبيرة كفاية (أصبعيات). إلا أن بعض المبتكرين يربي السمك إلى أن يصل إلى أحجام يمكن جنيها في برك شاطئية، حيث يسهل التحكم في الملوثات والأمراض والسمك الهارب.

أطواق التوربين

يلتصق بلح البحر والأعشاب البحرية بسرعة بأسلاك تركيبية وتنمو نموا طبيعيا. ويمكن وضع هذه الأسلاك حول التوربينات أو بينها في المزارع الهوائية البعيدة عن الشاطئ لتعزيز الاستثمار ولتساعد على تقليص المنافسة على المساحات البعيدة عن الشاطئ.



أحواض شاطئية

إن الأحواض المتشابكة الثقيلة هي نسبيا سهلة الإرساء والتحكم فيها. وتستطيع مزودات الطعام الآلية أن تقلص من هدر الطعام، فهي تتوقف عن العمل عندما تكتشف حساسات الأشعة تحت الحمراء في قاع البحر بقايا طعام تخرج من دون أن تؤكل. كما تستطيع الأعشاب البحرية وبلح البحر الذي يتغذى بفضلات الأسماك فيما لو ربي فورا «في اتجاه مجرى الماء» أن تقلل من التلوث وتزيد من الدخل الإجمالي. كما يمكن وضع عدد كبير من الكائنات آكلة الفضلات، مثل قنفذ البحر الأحمر، تحت الأحواض.



إن تربية **الأسماك** الصفراء الذيل **yellowtail** المدجنة فعالة ومجدية أكثر من السمك البري الذي يتطلب صيده وحمايته من الأسماك المفترسة طاقة أكثر.

وعلى الرغم من التحسينات في استزراع الأسماك البحرية، ما زال علماء البيئة والأكاديميون المعروفون يحاولون الحد من انتشارها. وفي هذا الصدد، يقول عالم إيكولوجيا البحار ‹J. جاكسون› [من معهد سكريپس لعلوم البحار]: إنه «يعارض بشدة» استزراع الأسماك المفترسة والروبيان وأي سمك يحب الناس تناوله معدا على **طريقة الساشيمي** sashimi-style. ويقول إنها ممارسة «مدمرة بيئيّا» بسبب الاستغلال المفرط لمخزون السمك البري، ويصر على «تجريمها قانونا.»

أذكى من اللحم البقري(*)

تذهب وجهة نظرة ‹جاكسون›، التي يرددها العديد من منتقدي استزراع الأسماك، إلى أن المخاطرة بانهيار مراكز صيد الأسماك المستخدمة في العلف - وهي من قبل مستغلة استغلالا جائرا - هي مخاطرة كبيرة من أجل توفير غذاء باهظ الثمن لن يتذوقه معظم الناس. فمن الأفضل كثيرا تناول الأسماك الآكلة الأعشاب مثل السردين والأنشوا مباشرة عوضا عن الأسماك المفترسة التي تحتل المراتب العليا في السلسلة الغذائية.

ويؤيد ‹سيمز› وجوب استهلاك الأسماك الأدنى في السلسلة الغذائية، ولكن هذا لا يعني أنه علينا أن نقلل من نوعية طعامنا. ويقول ‹سيمز› موضحا: «لنكن واقعيين، فأنا آكل الأنشوا الذي يوضع على البيتزا، ولكنني لا أستطيع إقناع أي فرد من عائلتي بذلك. وإذا كان بالإمكان الحصول على باوند من السمك المستزرع الصالح لإعداد السوشي مقابل باوند مكافئ من الأنشوا، فلم لا نوفر للناس ما يرغبون فيه!»

ويهزأ بعض الناس من استهلاك السمك - سواء كان صيدا أو مستزرعا - انطلاقا من مبدأ أن الكوكب وسكانه من البشر سيكونون بصحة أفضل فيما لو تناولوا خضارا أكثر. ولكن المجتمع لا يندفع بعد إلى التحول إلى مجتمع نباتي. فأعداد متزايدة من الناس تأكل لحما أكثر، وخصوصا مع ازدياد ثروة شعوب الدول النامية وتحضر المجتمعات وتأثرها بالغرب. فقد تنبأت منظمة الصحة العالمية بزيادة آكلي اللحوم بنسبة 25 في المئة بحلول عام 2050. وحتى لو بقي معدل الاستهلاك ثابتا، يجب أن تزداد مساحة الأراضي الزراعية والمراعي بما يعادل من 50 إلى 70 في المئة، وأن تبقى على معدل الإنتاج نفسه، لتوفير الطعام اللازم في عام 2050.

وتلك الحقيقة تدعو إلى مقارنة نادرا ما تُعقد بين استزراع الأسماك والزراعة على اليابسة. وعند القيام بذلك كما يجب، يكون بإمكان استزراع الأسماك تأمين البروتين الذي تزداد حاجة العالم إليه مع تقليص التوسع في الزراعة على اليابسة وما يصاحبها من أضرار بيئية.

لقد سبق لمزارعي الأراضي استغلال ما يعادل 40 في المئة من مساحة اليابسة على الكرة الأرضية. وبعد 10 000 سنة من محاولات الإصلاح، مازالت المشكلات الكبيرة قائمة. فالماشية تستهلك كميات كبيرة جدا من المحاصيل المزروعة باستخدام شديد للسماد، وتُعتبر حظائر الخنازير ومزارع الدواجن من أسوأ مصادر التلوث. وتتضاءل مساحة المناطق المدمرة تحت مزارع السمك الشاطئية مقارنة بالمناطق الشاسعة المدمرة بفعل مياه الصرف المشبعة ببقايا السماد، والتي تصب في خليج المكسيك والبحر الأسود ومناطق أخرى، وأمام الطحالب الضارة التي تتزايد أعدادها بفعل مياه الصرف من مزارع الخنازير في خليج تشيسابيك Chesapeake.

لقد بدأ عدد متزايد من العلماء بمقارنة الآثار البيئية لكل من النظم المتباينة لإنتاج البروتين، «وذلك من أجل أن يتمكن المجتمع من تركيز طاقاته على المشكلات الأكثر إلحاحا.» على حد قول ‹M .K. بروكس› [مستشار بيئة بحرية مستقل في مرفأ تاونسند بووش(1)]. ويقدر ‹بروكس› أن تربية **بقر الأنگس** Angus beef تحتاج إلى مساحة مراعي عالية الجودة أكثر بـ 4400 مرة من مساحة قاع المحيط الضرورية لإنتاج وزن مكافئ من سمك السلمون. أضف إلى ذلك، أن المنظومة البيئية تحت مزرعة السلمون تتعافى خلال عقد من الزمن، مقارنة بالقرون التي تحتاج إليها مراعي المواشي لتنمو إلى غابة يانعة.

وقد يكون السبب الأكثر إقناعا لإنتاج البروتين في

(*) SMARTER THAN BEEF
(1) Port Townsend, Wash

البحار هو تقليل استنزاف البشرية للمياه العذبة. فكما يشير <ديوارتي>، فإن منتجات اللحم الحيواني تشكل 3.5 في المئة من الإنتاج الغذائي فقط ولكنها تستهلك 45 في المئة من الماء المستخدم في الزراعة، وبتحويل معظم إنتاج البروتين إلى البحار فإن «الزراعة على اليابسة ستنمو نموا كبيرا من دون الحاجة إلى تجاوز المعدل الحالي لاستخدام الماء.» وذلك على حد قول <ديوارتي>.

وبالطبع، فإن جمع ونقل وجبات فول الصويا وزيت الدجاج وإطعام السمك جميعها عمليات تستهلك طاقة وينتج منها انبعاثات غازية. واستهلاك الطاقة وكمية انبعاث الغازات هي أكبر بالنسبة إلى المزارع الأبعد عن الشاطئ، لكن كلتا طريقتي الاستزراع أفضل بكثير من معظم أساطيل صيد السمك. والطريقة الوحيدة التي تجعل المزارع البعيدة عن الشواطئ مربحة للمزارعين في الوقت الحالي هي تربية أسماك باهظة الثمن، لكن من الممكن تخفيض التكلفة: فبعض المزارع التجريبية بدأت باستزراع المحار بطريقة مجدية اقتصاديا.

مميزات بيئية[*]

إذا كان توفير المزيد من السمك للمستهلكين حلاً لتوفير المتطلبات العالمية من البروتين، فلم لا نصطاد السمك مباشرة؟ إن العديد من المصايد الطبيعية للأسماك قد استُغلت لأقصى حد ممكن، في الوقت الذي يزداد فيه تعداد السكان والطلب على السمك. فعلى سبيل المثال، نجد الأمريكيين في شمال أمريكا مقتنعين بنصائح خبراء الصحة من أن تناول السمك يساعد على تقليل احتمال الإصابة بذبحات صدرية ويساعد على تحسين أداء الدماغ.

إضافة إلى ذلك، فإن أساطيل صيد السمك تستهلك كميات كبيرة من الوقود وتطلق كميات هائلة من **غازات الاحتباس الحراري** greenhouse gases والملوثات. كما أن الطرق التقليدية في صيد الأسماك، مثل الصيد بالشباك **والكرف**[1]، تقتل ملايين الأحياء البحرية من دون تمييز، وتشير الدراسات إلى أن نصف الأحياء البحرية المصطادة بهذه الطريقة تنبذ لكون الأسماك أصغر من اللازم، أو لتجاوز أعدادها النسبة المسموح بها لكل صياد، أو لكونها من النوع غير المرغوب فيه. وفي الغالب، يكون هذا الصيد الذي يطلق عليه الصيد الخطأ، ميتا عندما يعاد طرحه إلى البحر. أما الزراعة المائية فلا تدع مجالا لهذا التبذير؛ فكما يقول <سيمز>: «لا يحصد المزارعون إلا السمك الموجود في حظائرهم.»

ويشير <گودي> إلى حقيقة كثيرا ما تُغفل: يمكن استزراع السمك بطريقة أكثر فعالية من اصطياده. فالسمك المستزرع يحول غذاءه إلى لحم بطريقة أكثر فاعلية من مثيلاتها في البرية، التي تستهلك قدرا كبيرا من الطاقة في اصطياد غذائها وتجنب المفترسين والبحث عن زوج وفي التكاثر. فالحياة بالنسبة إلى الأسماك المستزرعة أسهل، لذلك فإن أغلب غذائها يوجه إلى النمو.

تُحصد الأسماك صفراء الذيل التي تربيها مزارع كونا بلو ومعظم السلمون المستزرع عندما تكون أعمارها ما بين السنة والثلاث سنوات، وهذا ثلث عمر السلمون الكبير غير المستزرع الذي يجري اصطياده لإعداد السوشي. كما أن صغر عمر الأسماك المستزرعة يعني فرصا أقل لتراكم الزئبق وغيرها من **الملوثات الدائمة** persistent pollutants التي تجعل الأسماك الكبيرة من التونا وسمك سياف البحر خطرا محتملا على الصحة.

وفي الواقع قد أصبحت منتجات استزراع السمك توفر 47 في المئة من المأكولات البحرية التي يستهلكها الناس عالميا، بعد أن كانت 9 في المئة فقط في عام 1980. كما يتنبأ الخبراء بأن النسبة قد ترتفع إلى 62 في المئة من إنتاج البروتين بحلول عام 2050. ويقول <J. ڤيلالون> [مدير الزراعة المائية في المنظمة العالمية للحياة البرية (WWF)]: «من الواضح أن الزراعة المائية مؤثرة، وهي هنا لتبقى، والناس الذين يعارضونها لا يدركون أهميتها حقا.» فالنظر فقط إلى مساوئ الزراعة المائية فيه الكثير من التضليل، إذ لابد من مقارنة مساوئها بمساوئ الأشكال الأخرى من إنتاج الغذاء. صحيح أن الزراعة المائية تؤثر في الأرض، ومهما كان عدد التحسينات لا يمكنها أن تلغي جميع المشكلات. ولكن جميع أنظمة إنتاج الغذاء تؤثر في البيئة؛ فصيد السمك البري وإنتاج لحم البقر والخنزير والدواجن جميعها تلقي أعباء ثقيلة على البيئة.

ورغبة في تشجيع الممارسات السليمة وتمييز مزارع السمك النظيفة من المسيئين للبيئة، أسست المنظمة WWF مجلس الإشراف على الزراعة المائية ASC لوضع مقاييس عالمية للممارسات المسؤولة، ولتعيين مدققين مستقلين للتأكد من تراخيص المزارع الملتزمة بالمقاييس. ومن المتوقع صدور أول مجموعة من القواعد مبكرا هذا العام. فالمجلس يعتقد أن ترخيص المزارع قد يكون له أثر كبير في حث نحو 100 إلى 200 من كبار بائعي السمك بالتجزئة على شرائها من المزارع المرخصة، بدلا من التعامل المباشر مع آلاف المنتجين.

ويقر مدير إدارة الزراعة المائية في مجلس حماية

(*) ENVIRONMENTAL DISTINCTIONS
(1) dredging

المحيـــط G> Ocean Conservancy's. ليونـــارد> بأن هذا النوع من برنامـــج **المزرعة-إلى-الطبــق**[1] المرخص هو طريقة مهمة لتشـــجيع مزارعي الســـمك على تقصي الممارســـات الأكثر اســـتدامة. ويتابع قائلا: «ســـنجد دائما، كما في كل صناعة عالميـــة، موردين مخادعين أســـعارهم متدنية.» لذا فإن وضع «أرضية» تنظيمية ستدفع مزارعي الولايات المتحدة إلى تحمل المسؤولية «من دون جعل المنافسة مستحيلة عليهم.»

وتلك نقطة جوهرية. فهناك فقط خمس من أصل عشـــرين منشـــأة بحرية توجـــد في ميـــاه الولايات المتحـــدة. ويعتقد <گودي> أن الزراعة المائية ســـتنمو فيما لو وضعت الولايات المتحدة نظامـــا للتراخيص في المياه الاتحادية، بدءا من ثلاثة إلـــى 200 ميل بحري بعد الشـــواطئ. ويؤكد <گودي> أنه «لن يقوم أي مســـتثمر بالاستثمار في الولايات المتحدة ما لم يكن هناك تشريع يمنح حقوق الإيجار للاستثمار.» فجميع مزارع الولايات المتحدة توجد داخل حدود الثلاثة أميال طولا وعرضا الخاضعة للولايات، وتســـمح بذلك فقـــط بعض الولايات مثل هـــاواي. وعلى ولاية كاليفورنيا أن تبدأ بمنح هذه التصاريح، إذ تقدر الحكومة أن عائدات صناعة استزراع سمك مستدامة في أقل من واحد في المئة من مياه الولاية قد تصل إلى بليون دولار سنويا.

سياسة البروتين(*)

تحتاج صناعة اســـتزراع السمك إلى سياسات مناسبة ومجالات منافســـة منصفـــة كي تتمكن مـــن النمو وتحقيق الاستدامة. وإلى الآن، مازال الدعم الحكومي لأسعار الوقود المستخدم لدعم أساطيل الصيد بشباك الجر والكرف كبيرا، على الرغم من تدميرهما لقيعان البحار وتســـببهما في موت كميات رهيبة من الأسماك غير المرغوب فيها. ويساعد الدعم الحكومـــي للمزارع علـــى بقاء إنتاج لحـــم البقر والخنازير والدجـــاج كصناعات مربحـــة. في حين تســـتمر جماعات الضغـــط الزراعيـــة القوية بمحاولاتها لتحجيـــم قوانين منع إلقاء مياه الصرف الملوثة بالسماد الغني بالنتروجين في نهر المسيسيبي. ويقول <بروكس>: «تقريبا ما من طريقة من هذه الطـــرق التقليدية في إنتاج الطعام قد خضعت للمراقبة التي خضعت لها الزراعة المائية.» لقد قَبِلَ الناس فلاحة الأراضي ولكنهـــم يرون أن المحيطات يجـــب أن تبقى برية طبيعية، مع أن عـــدم التوازن هذا ربما لا يكون الخطة الأكثر اســـتدامة لإطعام العالم.

قريبا، قد تفتح التحولات في السياســـات على المستويين الإقليمي والاتحادي المياه الاتحادية للولايات المتحدة الأمريكية. ففي الشـــهر 2009/1 صوّت مجلس إدارة الثروة السمكية في خليج المكســـيك لصالح خطة غير مســـبوقة للسماح للزراعة المائية البعيدة عن الشـــاطئ ضمن مياهها الإقليمية، بانتظار الحصـــول على الموافقة من المســـتويات الأعلـــى في الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي للولايات المتحدة (NOAA). وســـتقوم هذه الإدارة بتقييم الخطة بعد استكمال سياستها الوطنية الجديـــدة للزراعة المائية، التـــي تنظر لجميع جوانب هذه الصناعة، والتي قد تتضمن توجيهات لتطوير إطار وطني متسق لتنظيم الجوانب التجارية. وتقول <G. لوبشينكو> [مدير عـــام الإدارة NOAA]: «لا نريد أن تكرر الثورة الزرقاء نفس أخطاء الثورة الخضراء... إنه من المهم جدا ألا تحدث أخطاء، وهناك طرق كثيرة للوقوع في الخطأ.»

ومـــع التزايد المطرد في الطلب علـــى البروتين، يجب على المجتمـــع أن يتخـــذ قرارات صعبة بخصـــوص الأماكن التي ســـتنتج أكبر كمية منه. تقول <لوبشينكو>: «أحد أهدافي هو الوصـــول بنا إلى وضع، بحيث عندما يتكلم الناس عن الأمن الغذائي، فإنهـــم لا يعنون فقط الحبوب والماشـــية، بل أيضا صيد السمك والزراعة المائية». ويرى <ديوارتي> أنه علينا أن نخفّف الضغط على اليابســـة ونتوجه نحو البحار، حيث تتاح أمامنـــا فرصة القيام بالزراعة المائية على نحو صحيح، حتى لانندم بعد 40 سنة ونتمنى لو أننا قمنا بذلك.

أما فيما يتعلق بدور <سيمز> في الثورة الزرقاء، فإنه يشجع شركات التقانة على تطوير المعدات. فأدوات مثل منظفات آلية للشـــبكات وأجهزة التغذية الأوتوماتيكيـــة وأجهزة التصوير المتحكم فيها من قبل الأقمار الصنعية لمراقبة صحة الأسماك والأعطال التي قد تصيب الأقفاص، جميعها ستســـاعد بقية طاقـــم كونا بلو على التحكم من بعد في مزارعهم البعيدة عن الشواطئ. ويقول <ســـيمز>: «وهذا ليس ليساعدنا فقط على الحصول على المزيد من الســـمك المســـتزرع في المحيط، بل أيضا لنربي أسماكا أكثر على نحو أفضل.» ■

(*) PROTEIN POLICY

(١) farm-to-plate

مراجع للاستزادة

The State of World Fisheries and Aquaculture 2008. FAO, 2009.

Will the Oceans Help Feed Humanity? Carlos M. Duarte et al. in *BioScience*, Vol. 59, No. 11, pages 967-976; December 2009.

Sustainability and Global Seafood. Martin D. Smith et al. in *Science*, Vol. 327, pages784-786; February 12, 2010.

Will Farmed Fish Feed the World? An analysis from the Worldwatch Institute. **www.worldwatch.org/node/5883**

Scientific American, February 2011

ولكن لم تكن هناك دراسات استكشافية رائدة لاختبار مدى صلاحية برنامج كان قد تعامل مع طلبة المدارس، لاستخدامه في التعامل مع جندي أمريكي يواجه دورة ثالثة في العراق. ومع تقدم العمل في البرنامج، فإن الباحثين سوف يقيسون ما إذا كان الجنود يتحملون بشكل أفضل الإجهادات النفسية الحادة للحياة العسكرية. ومع أننا نبني كل هذا في وسط الهواء، إلاّ أن جميع خطواتنا يجري تقييمها على نحو شديد الانضباط»، على حد قول ‹سِلگمان›.

وقد أشار ‹بونانّو› وآخرون إلى افتقار الدليل على فعالية البرنامج. وفي ضوء التاريخ المليء ببواعث التشكك في التدخلات السابقة يتساءل ‹بونانّو› ما إذا كانت النتيجة ستكون سيئة أكثر مما هي جيدة. وقد شارك في دراسة، لم تنشر بعد، قامت خلال أحد عشر عاما بتتبع نحو 000 160 جندي من جهات مختلفة في المؤسسة العسكرية، وأمضى نصفهم دورة انتشار واحدة على الأقل إما في العراق أو في أفغانستان. وتظهر هذه الدراسة أن نحو 85% ممن أرسلوا إلى البلدين قد اعتبروا ممن لديهم القدرة على التحمل والمرونة، وذلك بناء على غياب أعراض الصدمة عندهم، بينما أظهرت الدراسة أن ما يتراوح بين 4 و 6% فقط منهم ظهرت عليهم أعراض الاضطراب PTSD. ويتساءل ‹بونانُّو›: «إذا كان معظم الناس قادرين على استعادة التوازن والحيوية، وهو ما يبدو من سائر الدراسات التي قمنا بها أنهم هكذا، فما الذي سوف يحدث لهؤلاء الناس إذا أنت قدمت لهم تدريبا يقوم بدور لقاح الإجهاد؟» ويضيف: «هل تستطيع جعلهم أقل قدرة على استعادة المرونة والحيوية؟ إن هذا هو السؤال الذي يتعين الإجابة عنه.»

إن الجيش الأمريكي كلّه لم يتلق تدريبا موحدا على القدرة على استعادة التوازن والحيوية. ويقول ‹W. P. ناش› [وهو طبيب كان قد أوكل إليه من قبل الإشراف على برامج مراقبة حالات الإجهاد الحاد في فرقة المارينز بالجيش الأمريكي]: إنها ضئيلة هي الأدلة على نجاح التدريب الوقائي في صدد القدرة على استعادة التوازن والحيوية. وهو يقارن الموقف في الجيش بكرة القدم الأمريكية للمحترفين: فمهما يكن من شأن امتداد الزمن الذي يتمرن فيه اللاعبون خلال الأسبوع، فإنه يحدث دائما في أيام الأحد أن يقعوا وأن يصابوا بالكدمات. ويقول: «إنك لا تستطيع أن تمنع الأمور السيئة من أن تحدث. وعلى النحو نفسه، فإنك لا تستطيع أن تحول دون أن يصاب الناس بالإجهاد الحاد.»

هل هناك شيء يمكن فعله من أجل رفع مقدرة شخص معين على المواجهة الإيجابية للمصائب والبلايا؟ إن تسليح الناس قبل أن يحدث لهم شيء من ذلك القبيل قد يفيد وربما لا يفيد. وقد قام بعض الباحثين من ذوي الخبرة المؤكدة – وهم سيكولوجيون وأطباء متخصصون في «المركز القومي الأمريكي للاضطرابات PTSD» – بتطوير طريقة للتعامل تستهدف تحفيز قدرات الشخص على المواجهة الإيجابية أكثر من القيام بالخوض الاستبطاني في ردود أفعال سيكولوجية. وتقول ‹P. واطسون› [وهي أحد من ساعدوا على ابتكار ذلك الأسلوب]: «إذا كان أحد ما على ما يرام، فأنت تُقِرُّ بأنهم على ما يرام». «الإسعاف الأولي السيكولوجي»، واسمه الرسمي هذا، ينطلق من التسليم بأن كثيرا من الناس يتعاملون تعاملا حسنا مع الأمور والأحداث معتمدين على أنفسهم: إنه يركز على ما هو عملي وتطبيقي. والطعام والمأوى أمران لهما الأولوية في حالة الكوارث، لكن الضحايا تصلهم أيضا معلومات عن أوجه المعونة المتاحة، كما يتعلمون كيف يقودون بأنفسهم تقدمهم نحو تجاوز الحدث. فبعد حادث الحادي عشر من سپتمبر، ظن بعض هؤلاء الذين كانوا بجوار مركز التجارة العالمي، أن القلق والكآبة ستستمر أعراضهما عندهم لثلاثة أشهر بعد الحادث، وهكذا فقد تجاهلوا نوع المعونة الذي كان متاحا لهؤلاء الذين كانت الأعراض التي تنتابهم ليست مجرد أعراض وقتية عارضة. «فانتهى الأمر بهؤلاء الناس بأن امتدت معاناتهم مدة أطول مما كان ممكنا، وذلك لظنهم أن هذه الأعراض ما هي إلا أمور طبيعية وحسب»، حسب قول ‹واطسون›. أما فيما يخص الضحايا الذين بلغ عندهم الاضطراب PTSD مبلغه، فإن عقاقير متنوعة من الطب النفسي، وكذلك علاجات تعتمد على علم النفس الإدراكي والسلوكي التي تكشف للمريض منبع الإجهاد الحاد عنده، كل هذا قد أظهر شيئا من النجاح مع هؤلاء الضحايا.

إن المعرفة العلمية الجديدة بشأن القدرة على استعادة التوازن والحيوية تبين لنا أن الطريقة نفسها في العلاج لا يمكن أن تكون مناسبة للجميع من أجل التعامل الإيجابي مع ما يصيبنا. وقد يحدث الأسوأ أحيانا، لكن قدرتنا الفطرية على النهوض من الكبوة تعني أن الأمور، في معظم الأوقات، تعود من جديد لتسير على النحو السليم. ■

‹G. ستكس›، *كاتب أول في مجلة* ساينتفيك أمريكان.

مراجع للاستزادة

The Other Side of Sadness: What the New Science of Bereavement Tells Us about Life after Loss. George A. Bonanno. Basic Books, 2009.

Flourish: A Visionary New Understanding of Happiness and Well-being. Martin E. P. Seligman. Free Press, 2011.

Scientific American, March 2011

Majallat AlOloom

مجلة العلوم

المجلد 27 العددان 8/7
يوليو/ أغسطس 2011

بحيرة الفسفور[*]

في ولاية فلوريدا يتم الحصول على الفسفور من خلال <التعدين بالتعرية>[١] لتوفير غذاء الناس.

<M. فيشيتي>

إن لتعدين الفسفور جانبين: أحدهما مفيد والآخر مقلق. فمن خلاله، نحصل على <فسفات الأمونيوم>[٢]، وهو المركب الذي يشكل المكون الرئيس للسماد المستخدم لإنتاج كميات وافرة من الطعام. وفي الوقت نفسه، تؤدي عمليات التعدين إلى إنتاج كميات هائلة من الفضلات، كما هو موضح في الصورة.

ونحصل على الفسفور باستخلاصه من صخور <فسفات الكالسيوم>[٣] عن طريق <التعدين بالتعرية> strip-mining في العديد من الولايات الأمريكية. ويقوم منتجو الفسفور بإضافة <حمض الكبريت>[٤] إلى الصخور ليتكون <حمض الفسفور>[٥]، الذي يتم تحويله إلى فسفات الأمونيوم. هذا، ويرافق الحصول على كل طن من حمض الفسفور، خمسة أطنان من منتج جانبي شبيه بالتراب يسمى <الجبس الفسفوري>[٦]، وتطلق هذه المادة البيضاء أو الرمادية <غاز الرادون>[٧] المشع، مما يجعل استخدامات هذا الجبس محدودة ومن ضمنها استخدامه في زراعة حقول <الفول السوداني>[٨]، ويتم جرف معظم الجبس الفسفوري وتخزينه في أكداس يصل ارتفاعها إلى ما يقرب من مئتي قدم، وتغطي مساحة تبلغ أربعمئة <أكر (فدان)>[٩] أو أكثر. وتحتوي كل كومة من الجبس الفسفوري على ما يتراوح بين بليون وثلاثة بلايين گالون من <مياه الفضلات>[١٠] التي تنضح من الجبس مُشكِّلة بحيرات صغيرة تومض وميضاً أزرق أو أخضر، نتيجة لانعكاس الضوء من على رواسب قاع البحيرات. وتتراوح درجة تركيز الأيون الهدروجيني (الحموضة) للماء ما بين 1 و 2 حمضية أكّالة>[١١]. وتظهر الصورة زاوية كومة من هذه الأكداس في فلوريدا والبحيرة بجانبها.

وتنتج ولاية فلوريدا 75% من الفسفور الذي يستخدمه المزارعون الأمريكيون، ونحو 20% من الإنتاج العالمي. ويتكدس أكثر من بليون طن من الجبس الفسفوري في 25 كومة عبر الولاية، ويضاف إليها نحو 28 مليون طن كل عام. ■

<M. فيشيتي>، عضو هيئة التحرير.

(*) PHOSPHORUS LAKE
(١) strip-mining: تعدين بإزالة الطبقة العليا من التربة ومن ثم سحقها.
(٢) ammonium phosphate
(٣) calcium phosphate
(٤) sulfuric acid
(٥) phosphoric acid
(٦) phosphogypsum
(٧) radon gas: عنصر غازي مشع.
(٨) peanuts
(٩) acre: فدان وتبلغ مساحته نحو 4000 متر مربع.
(١٠) wastewater
(١١) corrosively acidic

Scientific American, November 2010







الميثان: خطر ينبعث(*)

*منذ فترة، بدأ **الجليد السرمدي**[1] في القطب الشمالي بالذوبان مشكلا بحيرات تُصدر غاز الميثان. وهذا الغاز الحابس للحرارة يمكن أن يسرّع الاحترار العالمي بشكل كبير. فما حجم هذا التهديد؟ وما الذي يمكن عمله؟*

<K. W. أنثوني>

في جهودنا المستمرة لرصد مارد نشط يمكن له أن يسرّع بشدة الاحترار العالمي، قمنا برحلة استغرقت خمسة أيام وضمت فريق البحث الذي أنتمي إليه في جامعة آلاسكا فيربانكس، عابرين روسيا على متن طائرة مروحية صغيرة إلى المحطة العلمية الشمالية الشرقية في أرض المليون بحيرة التي كُنّا نعود لزيارتها من جديد.

تساعدنا هذه الرحلات العلمية على فهم مقدار المساحات المتجمدة طوال العام، والمعروفة **بالجليد السرمدي**[1] في سيبيريا وعبر القطب الشمالي والآخذ في الذوبان أو قريب منه، ومقدار الميثان الذي قد تولّده هذه العملية. ويثير هذا السؤال اهتمامنا – وكذلك اهتمام العديد من العلماء وصانعي السياسات – لأن الميثان **غاز احتباس حراري** green house gas قوي ويمتلك قدرة احتباس حراري تفوق غاز ثاني أكسيد الكربون بما يعادل 25 جزيئا لكل جزيء. ولو ذاب الجليد السرمدي بسرعة بسبب **الاحترار العالمي** global warming لارتفعت حرارة كوكب الأرض بسرعة أكبر مما تتنبأ به معظم النماذج المناخية الحالية. إن بياناتنا

مفاهيم مفتاحية

- يبدو أن الميثان الذي يفور إلى الغلاف الجوي من جراء ذوبان الجليد السرمدي الذي يقع أسفل العديد من بحيرات القطب الشمالي يسرّع الاحترار العالمي.
- تشير التقديرات الحديثة إلى أنه يمكن لذوبان الجليد السرمدي أن يرفع انبعاثات الغاز الدفيء القوي من 20 إلى 40% فوق ما سيتم إنتاجه من المصادر الطبيعية والبشرية بحلول العام 2100.
- الطريقة الواقعية الوحيدة لإبطاء الذوبان هي أن يحد البشر من الاحترار العالمي بخفض انبعاثاتهم من غاز ثاني أكسيد الكربون.

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) METHANE: A MENACE SURFACES
(١) permafrost



التهديدات بالأعداد(*)

يغطي الجليد السرمدي **20%** من سطح الأرض.

إن ثلث إلى نصف الجليد السرمدي، وهو مصدر غني بالميثان يبتعد الآن من **1 إلى 1.5 درجة سيليزية** من الذوبان.

عند معدلات الذوبان المتنبأ بها فإن الجليد السرمدي سيرفع الميثان المطلق إلى الغلاف الجوي بزيادة تعادل من **20% إلى 40%** أعلى من تلك التي تنتج من المصادر الطبيعية والبشرية جميعها بحلول العام 2100.

يمتلك الميثان في الغلاف الجوي قدرة على رفع درجة الحرارة بمقدار يعادل **25 مثل** ثاني أكسيد الكربون.

ونتيجة لذلك، فإن متوسط درجة حرارة الأرض السنوي يمكن أن يرتفع بما يعادل **0.32 درجة سيليزية** إضافية مسببا تغيرات مناخية أكبر وارتفاعا إضافيا لمستوى سطح البحر.

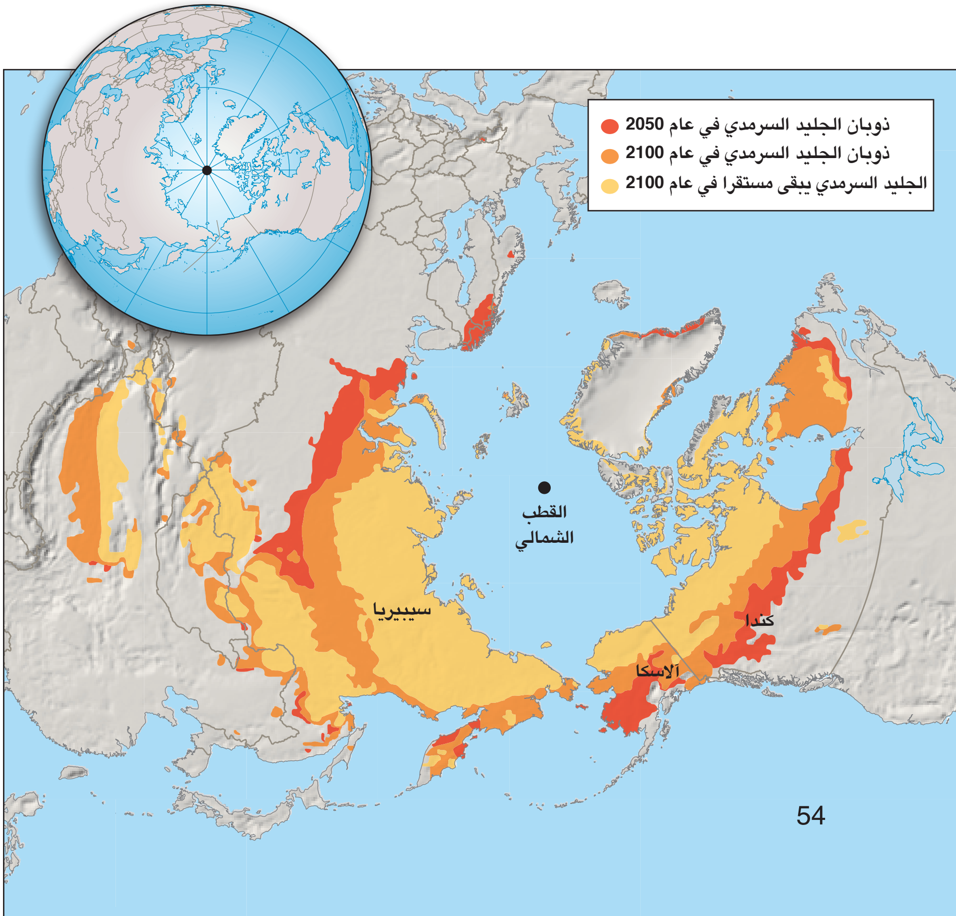
مع التحاليل المكمّلة لها التي قام بها آخرون تظهر اتجاهات تبعث على القلق.

ترك باب الفريزر (المجمدة) مفتوحا(**)

إن التغيّرات في الجليد السرمدي مقلقة جدا لأن الأرض المتجمدة التي تغطي 20% من سطح الكرة الأرضية تخزّن نحو 950 بليون طن من الكربون في عشرات الأمتار الأولى من أعماقها. (قد يمتد الجليد السرمدي إلى مئات الأمتار تحت سطح الأرض). وخلال عشرات الآلاف من السنين تراكم هذا الكربون على شكل بقايا حيوانية ونباتية ميتة ولطالما بقي متجمدا تحت العديد من البحيرات أو فيما بينها، فإنه يظل محجوزا بأمان عن الهواء.

ولكن عندما يذوب الجليد السرمدي يغدو الكربون الذي كان محبوسا متوفرا للميكروبات التي تحلله بسرعة منتجة الغاز.

وضع الشمال: ستذوب رقع واسعة من الجليد السرمدي بحلول العام 2050 وصولا إلى العام 2100 إذا استمر الاحترار العالمي من دون توقف، مصدرا كميات كبيرة من الميثان التي ستجعل الاحترار أسوأ.



وتحدث العملية نفسها فيما لو ترك باب المجمدة مفتوحا لمدة كافية فيذوب الجليد من الغذاء ويبدأ الغذاء بالتعفن. إذ يحفز الأكسجين البكتيريا والفطريات لتفكّك المادة العضوية هوائيا وتنتج غاز ثاني أكسيد الكربون. ولكن الأكسجين ينضب في التربة المشبعة بالماء كالرواسب في قعر بحيرة، وفي هذه الظروف يحدث التحلل اللاهوائي الذي يطلق غاز الميثان (إضافة إلى كمية من ثاني أكسيد الكربون). وتحت البحيرات يشكّل غاز الميثان فقاعات تفر عبر عمود الماء لتنفجر عند السطح وتدخل الغلاف الجوي.

إن التحلل اللاهوائي هو المصدر الرئيس للميثان في القطب الشمالي. ويؤدي ذوبان الثلج في الجليد السرمدي إلى هبوط مستوى سطح التربة. وتملأ مياه السيول هذه المنخفضات بسرعة فينشأ العديد من البحيرات الصغيرة المتشكلة حديثا، والتي تبدأ بنفث كميات كبيرة من الميثان لأن الجليد السرمدي الذي يقع الآن في أسفلها يذوب بشكل أسرع. وتشير الأدلة إلى أن هذه العملية مستمرة في الحدوث منذ عشرة آلاف سنة، منذ أن دخلت الأرض في الفترة الدافئة الحديثة: ما بين الجليديتين. ولكن تسجيلات الأقمار الصنعية المرصودة خلال العقود القليلة الماضية تقترح تسارع ذوبان الجليد السرمدي.

تتوافق هذه التسجيلات مع الملاحظات المدونة من العديد من مواقع عبر آلاسكا وسيبيريا، التي يعمل عليها زميلي <V. رومانوڤسكي> [من فيربانكس] وآخرون. إذ يشير <رومانوڤسكي> إلى أن درجة حرارة الجليد السرمدي في هذه المواقع آخذة في الارتفاع منذ أوائل السبعينات في القرن العشرين. وبناء على هذه القياسات فإن حساباته تشير إلى أن ثلث الجليد السرمدي في آلاسكا إلى نصفه هو الآن على بعد 1 إلى 1.5م درجة سيليزية من الذوبان، وقد

(*) THREATENED BY THE NUMBERS
(**) Leaving the Freezer Door Open





▲ **حريصون على اقتفاء الأثر:** في قيادتها لمجهود قياس كمية الميثان المنبعثة في الغلاف الجوي في العالم، تقوم المؤلفة (*تلبس معطفا أزرق*) مع طالب الدراسات العليا <D. ڤاز> بجمع الغاز الفائر إلى سطح الجليد الذي يغطي بحيرة في أواسط ألاسكا. وكما هو حال الغاز الطبيعي، فإن غاز الميثان قابل للاشتعال.

تخطّت بعض الأماكن في العالم عتبة درجة الصفر المئوية الحرجة.

إن الرصد المستمر الذي يجريه فريقي خلال زياراته إلى تشيرسكي ومواقع أخرى عديدة، وتلك التي يقوم بها زملاؤنا، تعزز الإدراك بأن الذوبان يتسارع، وتشير إلى أن الانبعاثات قد تكون أكبر بكثير مما هو متوقع. وتشير آخر تقديرات مجموعتي إلى أنه تحت ظروف الاحترار الحالية يمكن لذوبان الجليد السرمدي أن يرفع انبعاثات الميثان بحلول عام 2100 لأكثر بكثير مما ينتج من المصادر الطبيعية والبشرية مجتمعة. ويمكن لغاز الاحتباس الحراري المضاف، إضافة إلى ثاني أكسيد الكربون الناجمين عن ذوبان الجليد السرمدي، أن يرفعا المتوسط السنوي لدرجة حرارة الأرض بـ 0.32 سيليزية إضافية بحسب <V. أليكسيڤ> [من فيربانكس].

قد تبدو هذه الزيادة ضئيلة لكنها ليست كذلك. فهي ستسهم بشكل كبير في تقلّبات الطقس وارتفاع مستوى سطح البحر والإضرار بالزراعة وانتشار الأوبئة الناجمة عن الاحترار العالمي. ولو تسربت المصادر الأعمق للميثان - مثل تلك المخزونة في مواد تعرف بهيدرات الميثان - (*انظر المؤطر في الصفحة 58*) لوصل ارتفاع درجة الحرارة إلى عدة درجات سيليزية. لذا، فإن لدى البشرية أسباب تدفعها أكثر من أي وقت مضى إلى أن تبطئ بقوة المعدل الحالي للاحترار بحيث لا ندفع مناطق شاسعة من القطب الشمالي إلى ما بعد الحد الأقصى.

منجم الذهب في سيبيريا(*)

إن مسح مناطق مثل تشيرسكي ضروري للتحقق من تقديراتنا أو مراجعتها. وعندما أمشي مع زميلي <S. زيموڤ> [من المحطة الشمالية الشرقية] على شاطئ نهر سيبيريا فإنني أتوخى الحذر في الأماكن التي أتوقف فيها. إذ إن قشرة الأرض هي بعمق نصف متر فقط وتتألف بشكل كبير من طبقة لينة من خثّ طحلبي موحل فوق طبقة من الثلج بعمق يتراوح بين 40 و 80 مترا. وتميل الأشجار القزمة بزوايا مختلفة في هذه «الغابة السكرى»؛ لأنها لا تستطيع أن تمد جذورها عميقا داخل الأرض المتجمدة، وتولّد دورات الذوبان في الصيف أكمات كبيرة. وتهوي خلفي شجرة كبيرة سكرى إلى الأرض،

(*) The Mother Lode in Siberia

ومن خــلال الغطاء المزق لأرض الغابة نرى السطح الأسود اللامع للجليد الصلب ونشم الرائحة العفنة للمادة العضوية المتحللة. ومن الصعــب أيضا أن لا يتعثّــر أحدنا بالعظام الكثيــرة المبعثــرة: وحيد القــرن الصوفي والماموث والأســد مــن **العصــر الجليدي الحديث** Pleistocene والدب والحصان.

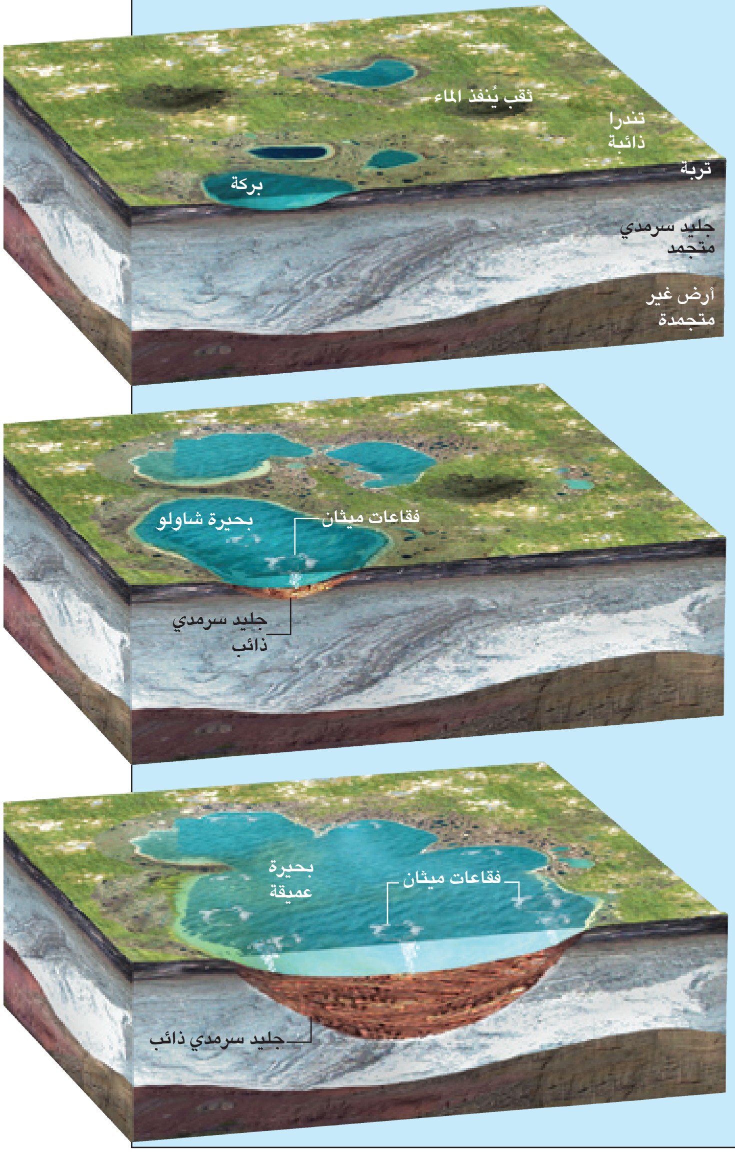
وبالنســبة إلى ‹زيموف›، فإن هذه المنطقة هي بمنزلة منجم من الذهب. وليس ذلك بسبب أنيــاب وجماجم الحيوانات النافقة. ففي العام 1989 – مدفوعــا بالاهتمــام بكميــة الكربون المحبوس في الأرض – قاد ‹زيموف› مجموعة مــن العلماء الشــباب الذين أنشــؤوا المحطة الشــمالية الشــرقية المعزولة لرصــد الجليد الســرمدي في **التنــدرا**(1) tundra و**التايكا**(2) taiga على مدار العام. خاض الباحثون الأنهار الروسية العظيمة في قوارب صغيرة، وتسلقوا هضابا من الجليد الســرمدي من دون حبال، وذلك لقياس محتوى الكربون الذي ينذر بإطلاق غاز الميثان. وباستخدام الدبابات والبلدوزرات أحدثوا اضطرابــات تزيح التربة الســطحية بالطريقــة نفســها التــي تنتج مــن الحرائق الطبيعية الشــديدة. ولقد برهنت تجاربهم على حجم مخزون الجليد الســرمدي من الكربون وأهميته بالنسبة إلى العالم.

ولكــن لماذا ركّز ‹زيموف› – ومجموعتي من بعده – أبحاثهم هنا في منطقة لم تعرف من قبــل إلا من قبل المعتقلات الســوفييتية فقــط؟ إذ إن الجليد الســرمدي ليس واحدا كلــه. إن أي أرض يكــون متوســط درجــة حرارتها الســنوية تحت الصفر الســيليزي لعامين متتالــين على الأقل تصنّف على أنها جليد ســرمدي ســواء أكان الثلج موجودا أم لا. ويحــوي هــذا الجــزء الشاســع من ســيبيريا نوعا مميزا من الجليد السرمدي يدعى **اليدوما**(3) yedoma، وهــو تربة غنية بالجليد والكربون – وكلاهما أساسيان في قصة الميثان. وتشــكل الأوتاد الضخمة من الجليد – بارتفاع 10 إلى 80 مترا والعدسات الأصغر حتــى 90% من حجــم التربة، أما

[كيف يُنتج الميثان]

الفقاعات المتفجرة(*)

في بيئة القطب الشمالي الباردة، تتجمد بقايا الحيوانات والنباتات الميتة في الجليد السرمدي القديم تحت طبقة رقيقة من التربة الحديثة. ولكن مع ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي تذوب التربة. وهذا هو الوقت الذي يبدأ عنده إطلاق غاز الميثان.



1 يذوب الجليد في التربة المتجمدة وتهبط التربة مشكلة ثقوب تصريف تمتلئ بالماء لتشكل بركا.

2 تندمج البرك لتشكل بحيرات. ويذيب الماء التربة في الأسفل وتفكك الميكروبات المادة العضوية لا هوائيا منتجة غاز الميثان.

3 تذيبُ البحيراتُ الآخذةُ في الازدياد عمقاً الجليدَ السرمديَّ، وهذه التربة المتجمدة هي الأغنى بالمادة العضوية. وتأخذ هذه التربة في التحلل أيضا مولدة العديد من فقاعات الميثان التي تصعد إلى سطح البحيرة وتنبعث في الغلاف الجوي.

الباقي فهو عبارة عن أعمدة من التربة الغنية بالمادة العضوية من بقايا الحيوانات الثديية من العصر الجليدي الحديث ومن الأعشاب التي كانت تتغذى بها.

(*) BURSTING BUBBLES

(1) لفظة روسية تطلق على نباتات القطب الشمالي، وهي تشكل نظاما بيئيا فريدا.

(2) لفظة روســية تشــير إلى غابات الصنوبريات في الأجزاء الشمالية من روسيا وإسكندنافيا وكندا.

(3) جليــد دائم غني بالمواد العضوية، من حقبة البليستوســين (العصر الحجري الحديث) تتراوح نسبة الجليد فيه من 50 إلى 90%. (التحرير)



▲ تتشكل البحيرات عبر سيبيريا مع قيام الهواء الدافئ بإذابة التربة المتجمدة سابقا (*في الأعلى*). وفي الأسفل المؤلفة (*في معطف أحمر*) وطالب الدراسات العليا حا. فارغوهارسون> يأخذان عينات من الأجزاء الظاهرة من الجليد السرمدي المتكشفة (*تربة رمادية*)، والذي غالبا ما يمتد لعشرات الأمتار تحت غطاء رقيق من التربة غير المتجمدة.



عند نهاية العصر الجليدي الحديث تشكلت اليدوما على مساحة تعادل تقريبا 1.8 مليون كيلومتر مربع في سيبيريا، وفي جيوب قليلة في أمريكا الشمالية. وقد تجمّدت المادة العضوية في مكانها قبل أن تتمكّن الميكروبات من تفكيكها؛ وبذلك حبس مخزون هائل من الغذاء إلى أن تتغير الظروف، مثل ترك باب المجمدة مفتوحا.

مؤخرا ساعدت ظروف المناخ الأدفأ على إذابة جليد اليودما مشكلة البحيرات. وتنهار النباتات عند الحواف مع ذوبان التربة وانحسارها، وهي عملية تعرف **بالنقر الحراري** thermokarst. وتغطي البحيرات اليوم مساحة تصل إلى 30% من سيبيريا، واستمرار الذوبان سيجعلها أوسع وأعمق إلى أن تندمج لتشكل أسطحا مائية كبيرة منتجة لغاز الميثان.

تنبعث على شكل فقاعات(*)

في التسعينات من القرن العشرين لاحظ الباحثون في المحطة الشمالية الشرقية أن غاز الميثان ينبعث طوال العام على شكل فقاعات من أعماق البحيرات، ولكنهم لم يعرفوا مدى أهمية البحيرات بالنسبة إلى العالم. ومن هنا جاءت مصاعب الهبوط لطائرتي في تشيرسكي في الشهر 2009/8، في رحلتي التاسعة للخوض في بحيرات النقر الحراري شديدة الاتساع، وذلك لقياس التغيرات في الجليد السرمدي وانبعاثات غاز الميثان.

بدأ بحثي كمشروع لرسالة الدكتوراه في العام 2000. وفي ذلك الوقت، كان العلماء يعرفون أن مستوى الميثان، وهو ثالث غازات الاحتباس الحراري من حيث توافره في الجو بعد ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء، آخذ في الازدياد. وكان مقدار الانبعاث ومعدله غير مسبوقين خلال السنوات الـ 650 000 الماضية. وكانت الدلائل تشير إلى أن تركيز الميثان في الجو خلال الحقبات السابقة تذبذب بنحو 50% وارتبط ذلك بالتغيرات

(*) Blown Away by Bubbles

المناخية الطبيعية خلال آلاف السنين. ولكن ذاك التغير كان ضئيلا مقارنة بالزيادة بنسبة 160% تقريبا التي حصلت منذ منتصف القرن الثامن عشر، إذ ارتفع التركيز من 700 جزء لكل بليون قبل الثورة الصناعية إلى نحو 1800 جزء لكل بليون عندما بدأت مشروعي.

وأدرك العلماء أيضا أن الزراعة والصناعة ودفن النفايات والنشاطات البشرية الأخرى كانت مرتبطة بوضوح بهذا الارتفاع الحديث، ومع ذلك فإن نصف الميثان الذي يدخل الغلاف الجوي تقريبا كل عام يأتي من مصادر طبيعية. ولكن لم يكن أحد قد حدّد أكبر تلك المصادر بعد.

وفي الفترة ما بين العام 2001 إلى العام 2004 وزّعت وقتي بين غرفتي في فيربانكس والعمل مع <زيموف> وآخرين في تشيرسكي، والعيش مع العائلات الروسية المحلية القليلة هناك. وفي مكتبة في عليّة البيت بمحطتنا الخشبية الصفراء الصغيرة أمضيت ليالي طوالاً أصنع مصايد بلاستيكية عائمة يمكنني وضعها على البحيرات لجمع فقاعات الميثان. كنت أدلّي المصايد بالانحناء فوق حافة الزوارق المهجورة التي استوليت عليها، وكنت أتفحص المصايد لأسجّل حجم الغاز المتجمع تحت قبابها التي تشبه قنديل البحر. ولكنني في البداية لم ألتقط الكثير من الميثان.

يأتي الشتاء مبكرا، وفي صباح يوم من أيام الشهر 10 عندما كان الجليد الأسود بالكاد غليظا بما يكفي ليتحمّل وزن جسمي مشيت على السطح اللامع صدرت صرخة تعجب «آه !». كان المنظر كما لو أنني كنت أنظر إلى السماء في الليل. إذ كانت هناك مجموعات لامعة من الفقاعات البيضاء محصورة في الجليد الأسود الرقيق، وقد كانت تنتشر عبر السطح بحيث إنها أرتني خريطة مصادر انطلاق الفقاعات أو

[مصادر جديدة للميثان في المستقبل]

الهيدرات: مشكلة أعمق(*)

ليس الجليد السرمدي هو المصدر الوحيد لقلق العالم من غاز الميثان. فهناك كميات هائلة من الغاز محبوسة في أقفاص جليدية تحت الأرض بمئات الأمتار وتحت قاع المحيطات. ولو ذابت «هيدرات الميثان» هذه بطريقة ما وأطلقت الغاز منها إلى الغلاف الجوي فإنها تقريبا بالتأكيد ستحفز تغييرا مفاجئا في المناخ. وتقترح الدلائل من رسوبيات قاع البحر أن هذا هو بالذات – التحفيز الناجم عن الارتفاع السريع لدرجة حرارة المحيطات – ربما يكون قد حدث قبل 55 مليون سنة.

ويدّعي بعض العلماء الروس أن أكثر من 1000 بليون طن من الميثان يقع تحت الصفيحة السيبيرية – أرض مغمورة تمتد نحو البحر من الشاطئ وتنحدر في النهاية إلى أعماق المحيط. ولو انبعث 10% من 100 بليون طن – فسيكون ضعف الـ 50 بليون طن التي نتنبأ بأنها يمكن أن تنطلق من جراء ذوبان الجليد السرمدي (*انظر المقال الرئيس*). وليس من المحتمل أن ترتفع درجة حرارة أعماق المحيطات في المستقبل القريب. ولكن لوحظ مؤخرا وجود تراكيز مرتفعة من غاز الميثان في المياه الضحلة قرب الجرف القاري، وسيحدد البحث المتواصل هناك فيما إذا كان المصدر هو الهيدرات أو (الأكثر احتمالا) هو المادة العضوية المتحللة بذوبان الجليد السرمدي في قيعان البحار الضحلة.

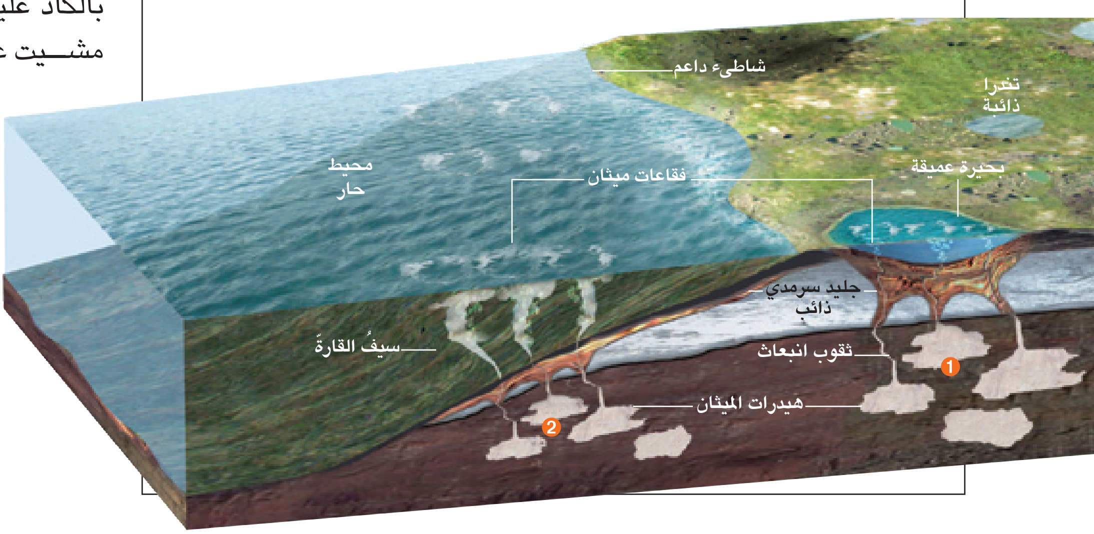
وعلى اليابسة لو امتد ذوبان قاع البحيرات مثل الأصابع عميقا في الأرض أسفلها، فمن المحتمل أن تصل إلى ترسبات الهيدرات وتوفر قناة للفوران نحو الأعلى خلال عمود الماء ومنه إلى الغلاف الجوي. وتتعاون مجموعتي مع عالمين من مؤسسة الولايات المتحدة للرصد الجيولوجي(1) **هما <K. روبل> و<J. بوهلمان> لتقييم هذا الاحتمال.**

ولو ثبت أن الهيدرات ستمثل تهديدا، فيمكن عكس هذا التأثير قليلا باستخلاص غاز الميثان على شكل وقود قبل أن يطلق. وسينتج الميثان في الهيدرات في العالم كميات الطاقة أكبر من من تلك الموجودة في الغاز الطبيعي والنفط والفحم الحجري مجتمعة. ولكن القليل جدا منه قابل للاستخراج بشكل اقتصادي لأنه شديد التناثر في الطبقات الجيولوجية، مما يجعل الاستكشاف والاستخلاص مكلفين جدا حتى ولو كان سعر النفط 100 دولار للبرميل. وقد يكون استخراج الهيدرات المركزة أكثر اقتصادية في مناطق قليلة تتركز فيها الهيدرات. ولما كانت دول مثل اليابان والصين وكوريا الجنوبية تتطلع نحو خفض وارداتها من الوقود الأحفوري، فإنها تستثمر في تقنية لاستخلاص الميثان من هذه الطبقات. وتقوم كونوكو فيليپس ConocoPhillips وشركة البترول البريطانية British Petroleum بدراسة الجدوى الاقتصادية لبعض أنواع الهيدرات في الولايات المتحدة الأمريكية.

إن تعدين الهيدرات أمر موضع جدل. فلو اقترحت أدلة كافية انبعاث كميات كبيرة لا يمكن التحكم فيها قريبة من الميثان من مناطق الهيدرات التي لم تعد مستقرة، فإن التقاط الغاز سيساعد على التخفيف من الاحترار العالمي. ولا يوجد دليل على وجود انبعاث كبير من غاز الميثان من الهيدرات حتى الآن، لكن الاستخراج التجاري سيفاقم ببساطة التغيرات المناخية الناجمة عن حرق الوقود الأحفوري. ومن وجهة نظر الاحترار العالمي فسنكون في حال أفضل لو تركنا هذه الهيدرات في أعماق الأرض.

العملاق ▼

يمكن للطبقات العميقة والكبيرة من الجليد والغاز التي تعرف بالهيدرات أن تطلق فجأة كميات كبيرة من الميثان لو خرقت. وهناك نظريا طريقتان لحدوث ذلك: (*1*) على اليابسة يمكن لأصابع الجليد السرمدي الذائبة أن تمتد في الأعماق وتخترق الطبقات مما يسمح للميثان بأن ينطلق نحو الأعلى. (*2*) تحت الصفائح القارية قد يؤدي ارتفاع درجة حرارة مياه المحيطات إلى إذابة غطاء الجليد السرمدي الرقيق ومن ثم يذيب الهيدرات الجليدية مما يسمح للميثان بأن ينطلق نحو الأعلى.



(*) HYDRATES: DEEPER TROUBLE
(1) U.S. Geological Survey scientists

تسربها في حوض البحيرة في الأسفل. طعنت جيبا أبيض كبيرا برمح حديدي فانطلقت منه ريح نحو الأعلى. أشعلت عود ثقاب فاشتعل لهب ارتفع خمسة أمتار نحو الأعلى بحيث ألقاني أرضا إلى الوراء وحرق وجهي ولفح حواجبي. إنه غاز الميثان!

طيلة ذلك الشتاء خاطرت بالتجول عبر البحيرات المتجمدة لوضع مصايد أكثر فوق مواضع التسرب. ومن دون علم مني دست أكثر من مرة فوق بقع ساخنة تصدر الفقاعات وسقطت في الماء البارد المتجمد. يمكن لبقع الميثان الساخنة في أحواض البحيرات أن تصدر كمية كبيرة من الغاز بحيث يمكن للاضطراب الناتج من صعود الفقاعات أن يمنع تشكل الجليد سوى طبقة رقيقة من الجليد فوق سطح البحيرة، تاركا فتحات هشة بحجم أغطية فتحات المجاري حتى عندما تصل درجة حرارة الهواء إلى – 50 سيليزية في شتاء سيبيريا المظلم. التقطت ما مقداره 25 لترا (8 گالونات) من الميثان كل يوم من مواضع تسرب متفرقة، وهي أكثر بكثير مما يجده العلماء عادة. وأعددت خرائط لمواقع البقع الساخنة وسجلت الانبعاثات عبر العديد من البحيرات. كان الغليان الأقوى يحدث قرب حواف البحيرات حيث كان الجليد السرمدي آخذ في الذوبان بسرعة. وأشار عمر الكربون المشع للغاز – والذي يبلغ

علم للمواطن: الميثان في البحيرات القريبة منك(*)

هل تعيش بالقرب من بحيرة؟ كم كمية الميثان التي تنبعث منها؟ يصعد الميثان من قاع أي بحيرة تتحلل فيها المادة العضوية بغض النظر عن خط العرض لمنطقتها. إن البرك التي تتشكل بفعل قيام القندس ببناء السدود هي برك غنية بالمواد العضوية. ولمعرفة كيف يمكنك أن تسهم في رصد انبعاثات الميثان في باحتك الخلفية قم بزيارة موقع الشبكة القطبية لرصد انبعاث الميثان من البحيرات الجليدية(۱). ويمكن للمعلمين أيضا أن يشاركوا من خلال برنامج للطلبة على الموقع نفسه.

43 000 سنة في بعض الأماكن – إلى أن اليدوما هي مصدر ذلك.

ومنذ العام 2002 وحتى العام 2009 أجريت مسوحات لتسرب الميثان في 60 بحيرة من أنواع وأحجام مختلفة في سيبيريا وآلاسكا. وما لم يتوقعه العلماء هو أن الزيادة في انبعاث الميثان عبر المنطقة المدروسة لم يكن يتناسب مع ازدياد مساحة البحيرة في المنطقة نفسها. لقد كان أكبر بـ 45% تقريبا؛ أي كان يتسارع.

وعند تطبيق منهج **التقدير الاستقرائي** extrapolate على البحيرات في القطب الشمالي أشار تقديري الأولي إلى أن 14 إلى 35 مليون طن متري من الميثان يطلق في السنة. وأظهرت الدلائل من سجلات العينات المأخوذة من الجليد القطبي ومن التأريخ بالكربون المشع لأحواض البحيرات التي جفت في القدم أن البحيرات المتشكلة بالنقر الحراري أسهمت بقوة في تغير المناخ المفاجئ قبل 10 000 إلى 11 000 سنة – بما يعادل 87% من ميثان القطب الشمالي الذي ساعد على إنهاء العصر الجليدي. ويدلنا هذا إلى أنه تحت ظروف مناسبة فإن ذوبان الجليد السرمدي وإطلاق الميثان يمكن أن

(*) CITIZEN SCIENCE: METHANE IN LAKES NEAR YOU
(۱) Pan-Arctic Lake-Ice Methane monitoring Network
www.alaska.edu/uaf/cem/ine/walter/ongoing_projects.xml



▲ **الحل؟** يصلح راعي الرنة سياجا يحيط بمنطقة واسعة من سيبيريا تعرف بحديقة العصر الجليدي الحديث. أعيد تقديم حيوانات رعي مثل خيول الياكوتشاين Yakutian في هذه الحديقة لإعادة تشكيل البراري العشبية بشكل أفضل، مما يساعد على المحافظة على الجليد السرمدي متجمدا.

يتسارعا مولدين دارة **تغذية راجعة إيجابية** positive feedback: يطلق كربون العصر الجليدي الحديث على شكل ميثان مما يسهم في احترار الغلاف الجوي، وهذا يسبب ذوبانا أشد وإطلاق كمية أكبر من الميثان. وفي يومنا هذا، يهدد الاحترار المسبب بالأنشطة البشرية بتحفيز دائرة التحكم العكسية مرة أخرى.

ما مدى سرعة حدوث هذه الدوائر العكسية؟ في العام 2007 تنبأت نماذج المناخ العالمية التي أعلنت عنها «**اللجنة ما بين الحكومات حول تغير المناخ**» (IPCC)[1] بأن الاحترار الأشد في المستقبل سيكون في خطوط العرض العليا، إذ تنبأت بعض النماذج بارتفاع درجة الحرارة من 7 إلى 8 سيليزية مع نهاية القرن الحادي والعشرين. وبناء على العديد من التحاليل تنبأت مع زملائي بأن 50 بليون طن من الميثان ستهرب من بحيرات النقر الحراري في سيبيريا مع ذوبان اليدوما خلال العقود والقرون القادمة. وتعادل هذه الكمية 10 أمثال الميثان الموجود حاليا في الغلاف الجوي.

ضبط النماذج[*]

حتى مع أفضل جهودنا، تحتاج تقديراتنا الحالية إلى نماذج أكثر تطورا وإلى أخذ احتمال تطور دوائر التحكم العكسية بالاعتبار كونها قد تعمل ككوابح على النظام. فعلى سبيل المثال، في آلاسكا نجد أن عددا كبيرا من بحيرات النقر الحراري آخذ في الجفاف. وتظل البحيرات المتشكلة في المناطق المرتفعة تكبر في المساحة حتى تصادف منحدرا؛ عندها يتدفق الماء أسفل المنحدر فيعري الطبقات ويؤدي إلى قدر أكبر من التجفيف، مرسلا الرسوبيات إلى الأنهار وفي النهاية إلى المحيط. وتمتلئ **أحواض الصرف** drained basins بنباتات جديدة لتتحول على الأغلب إلى **أراض رطبة** wetlands. ومع أن هذه الأراضي تنتج الميثان عندما تذوب الثلوج في الصيف، فإن مجموع الانبعاثات السنوي غالبا ما يكون أقل من تلك التي تصدر عن البحيرات.

من الصعب القول ما إذا كانت مثل هذه العمليات المحتملة ستقلل من إطلاق الميثان بمقدار كبير أو ببضع في المئة فقط. في العام 2008 بدأت بمشروعين مع زملائي: >G. غروسي< [من فيربانكس] و>L. پلج< [من جامعة دالهاسي نوڤا سكوتيا] و>M. إدواردز< [من جامعة ساوثهامپتون] في إنگلترا وآخرين، وذلك لتحسين التقريبات من الدرجة الأولى لدوائر التحكم العكسية أو الطردية. كانت الخطوة الأساس هي إعداد خرائط ونظام تصنيف بحيرات النقر الحراري ودورة الكربون لمناطق في سيبيريا وآلاسكا، والتي نأمل بأن ننتهي من مسودة البحث في أوائل العام 2010. يربط هذا البحث - الذي يجمع بين عدد من التخصصات العلمية - بين القياسات الإيكولوجية والانبعاثات والجيوفيزياء، والاستشعار عن بعد، والرصد المخبري لتربة الجليد السرمدي الذائبة ورواسب البحيرات بوصفها في حضانات، إضافة إلى دراسات متنوعة من فروع أخرى. كان الهدف هو صياغة **نمذجة كمية** quantitative model لانبعاثات الميثان وثاني أكسيد الكربون من بحيرات النقر الحراري منذ **الذروة الجليدية الأخيرة**[2] (قبل 000 21 سنة) إلى الوقت الحالي، وذلك للتنبؤ بدوائر التحكم للاحترار بفعل الميثان المنبعث من البحيرات في العقود أو القرون القادمة.

وللمساعدة على التنبؤ بتأثير الاحترار، في المستقبل، في بحيرات النقر الحراري، يطوّر >پلج< بالتعاون مع طالب ما بعد الدكتوراه يعمل معنا هو >M. كيسلر<، نموذجين حاسوبيين. النمذجة الأولى لبحيرة وحيدة ستمثل ديناميكية حوض البحيرة. والثانية نمذجة لمنطقة كاملة تتضمن خواص منحدرات التلال وحركة المياه السطحية والتغيرات في مساحات الجليد السرمدي. أولا، سيتم اختبار النمذجة للتحقق من صحتها وذلك بمقارنتها بمناطق درسناها مسبقا، ومن ثم بالمقارنة ببيانات من عينات من ترسبات تعود إلى 000 15 سنة مضت في سيبيريا وآلاسكا، ثم بالمقارنة بنتائج محاكاة مناخية أخرى منذ 000 210 سنة مضت. وستكون الخطوة النهائية ربط نمذجة بحيرة النقر الحراري بالنموذج الضخم المعروف **بالنموذج المرتبط لمركز هادلي**[3] الذي يصف تيارات المحيطات وحركة الغلاف الجوي - وهو أحد النماذج الرئيسة التي تستخدم في تقارير الرصد التقديرية التي تعدها اللجنة IPCC. وستكون النتيجة كما نأمل برنامجا رئيسا يمكن أن ينمذج بالكامل مدى ذوبان الجليد السرمدي وتأثيراته، مما يسمح لنا بأن نحسب معدل انبعاث الميثان في المستقبل، ونقدر كيف سيؤثر ذلك في درجة حرارة الأرض.

وبالطبع، فإن العمل الميداني سيستمر بتحسين نوعية البيانات التي تستخدم في هذه النماذج. في العام 2010 سوف نتفحص وباستخدام طائرة برمائية - البحيرات على طول 1000 ميل تقريبا من الأنهار السيبيرية والساحل

(*) Fine-tuning the Models
(1) the Intergovernmental Panel on Climate Change
(2) the last glacial maximum
(3) Hadley Center Coupled Model

القطبي. وستجمع أيضا حملة ضخمة عينات من طبقات من البحيرات تعود إلى ألف عام. وفي النهاية ستستخدم البيانات الميدانية مع الاستشعار عن بعد في برنامج مركز هادلي تنبؤات لنمذجة مسببات التغير المناخي من الذروة الجليدية الأخيرة وحتى 200 عام في المستقبل؛ على أن تستكمل خرائط تنبؤات ذوبان الجليد السرمدي وانبعاث الميثان بها بحلول الشهر 2011/4.

حلول(*)

لو كان انبعاث الميثان من الجليد السرمدي في القطب الشمالي يتسارع كما تقترح المؤشرات جميعها، يصبح السؤال المهم: هل يمكن فعل أي شيء لمنع انبعاث الميثان؟ سيكون أحد الأجوبة هو استخلاص الغاز كوقود نظيف نسبيا قبل أن يتسرب إلى الغلاف الجوي. ولكن حصاد غاز الميثان من ملايين البحيرات المنتشرة عبر مناطق شاسعة ليس اقتصاديا لأن أماكن التسرب متباعدة كثيرا. ومع ذلك يمكن للتجمعات البشرية الصغيرة والقريبة من مواضع تسرب قوية أن تلتقط الميثان كمصدر للطاقة.

لقد صمم <زيموف> وابنه <نيكيتا> خطة ذكية للمساعدة على بقاء الجليد السرمدي في سيبيريا متجمدا. فهما يعيدان تكوين **المنظومة الإيكولوجية** ecosystem العشبية التي تعيش عليها آكلات العشب الشمالية الضخمة، وتشبه تلك التي وجدت في سيبيريا قبل أكثر من 10 000 سنة. لقد أدخلا الحصان و**الموظ** moose والدببة والذئاب في «حديقة العصر الجليدي الحديث». وهي عبارة عن محمية علمية بمساحة 160 كم^2 في شمال شرق سيبيريا. ويعتزمان إعادة تقديم ثور المسك وثور البيسون، بحسب التمويل الذي يأتي من مصادر مستقلة ومن الحكومة الروسية والوكالات الأمريكية.

لقد حافظت هذه الحيوانات آكلة العشب مع الماموث، على منظومة إيكولوجية من **براري الإستبس** steppe-grassland منذ سنوات بعيدة مضت. إن الإقليم العشبي اللامع أكثر كفاءة في عكس الإشعاع الشمسي الساقط عليه من الغابة الشمالية المعتمة التي حلّت محلها، الأمر الذي سيساعد على الحفاظ على الجليد السرمدي تحتها في حالة متجمدة. إضافة إلى ذلك، فإن الحيوانات آكلة العشب تدوس في الشتاء على الجليد وتستخرج العلف من كتل الجليد المتراكمة، مما يسمح للبرد الشديد أن يجمّد الجليد السرمدي لدرجة أكثر.

لقد أخذ رجل مع أسرته على عاتقه مجهودا عملاقا لينقذ العالم من التغير المناخي ببناء حديقة عصر جليدي حديث. ومع ذلك، هناك حاجة إلى تجاوب عالمي بحيث يتحمل كل فرد أو منظمة أو أمة المسؤولية في تخفيض البصمة الكربونية لهذا التغير. إن إبطاء انبعاث ثاني أكسيد الكربون هو الطريقة الوحيدة لكي تتجنب البشرية تضخيم دارة راجعة لاحترار أشد سيسبب ذوبان الجليد السرمدي والذي بدوره سيسبب احترارا أكبر. إننا نتنبأ بأنه لو تزايدت انبعاثات الكربون وفقا للمعدل الحالي المتوقع، فسوف تطلق البحيرات الشمالية ما يعادل 100 إلى 200 مليون طن من الميثان في العام بحلول العام 2100، وهي أكثر بكثير من انبعاث 14 إلى 35 مليون طن التي تصدرها سنويا اليوم. وإن الإصدار الكلي العالمي من المصادر جميعها هو نحو 550 مليون طن في العام، فإذا استمر ذوبان الجليد السرمدي دون من إيقاف فإنه سيضيف من 20% إلى 40% درجة حرارة الأرض رافعا المتوسط السنوي لهذه الدرجة بما يعادل 0.32° سيليزية. والعالم لن يحتمل التدهور المناخي إلى ذلك الحد. ولخفض ثاني أكسيد الكربون في الجو ومن ثم إبطاء ذوبان الجليد السرمدي، علينا جميعا أن نواجه «الفيل في الغرفة»:(1) أولئك الناس الذين يحرقون الوقود الأحفوري. ■

(*) Solutions
(1) the elephant in the room: تعبير اصطلاحي يعني: مسألة رئيسية خلافية لا تناقش. (التحرير)

المؤلفة



Katey Walter Anthony

*<W.K. **أنتوني**> أستاذة باحثة في مركز أبحاث المياه والبيئة في جامعة آلاسكا فيربانكس. وهي تتنقل بين المواقع الميدانية في سيبيريا وآلاسكا، لدارسة انبعاث الميثان وثاني أكسيد الكربون من البحيرات والجليد السرمدي الذائب.*

مراجع للاستزادة

Methane Bubbling from Siberian Thaw Lakes as a Positive Feedback to Climate Warming. K. M. Walter et al. in *Nature*, Vol. 443, pages 71–75; September 7, 2006.

Thermokarst Lakes as a Source of Atmospheric CH_4 during the Last Deglaciation. K. M. Walter et al. in *Science*, Vol. 318, pages 633–636; October 26, 2007.

Assessing the Spatial and Temporal Dynamics of Thermokarst, Methane Emissions, and Related Carbon Cycling in Siberia and Alaska. G. Grosse, K. Walter and V. E. Romanovsky. NASA Carbon Cycle Sciences Project, April 2008–March 2011.

Understanding the Impacts of Icy Permafrost Degradation and Thermokarst-Lake Dynamics in the Arctic on Carbon Cycling, CO_2 and CH_4 Emissions, and Feedbacks to Climate Change. K. Walter, G. Grosse, M. Edwards, L. Plug and L. Slater. Project 0732735 for National Science Foundation/International Polar Year, July 2008–June 2011.

Scientific American, December 2009

مقاومة المضادات الحيوية: عدو بداخلنا[*]

نوع جديد من مقاومة المضادات الحيوية ينتشر حول العالم قد يجعلنا في وقت قريب عاجزين عن الدفاع عن أنفسنا في وجه طيف واسع ومخيف من **الإنتانات**[١] البكتيرية.

<M. ماكينا>

في أوائل صيف عـــام 2008 تلقّى <T. وولش> [من جامعة كارديف فـــي ويلز] رســـالة عبـــر بريـــده الإلكتروني من أحد معارفه <C. جيســـك>، وهو طبيب وعضو هيئة تدريس بمعهد كارولينســـكا في الســـويد. كان <جيســـك> يعالج رجلا في التاســـعة والخمســـين من العمر أُدخل المستشفى في الشهر 2011/1 فـــي أوريبـــرو، وهـــي مدينة صغيرة تبعـــد نحو 100 ميـــل عن اســـتوكهولم. هذا الرجل كان يعاني داء الســـكري منذ سنوات وأصيب بعدة ســـكتات دماغية، ومؤخرا أصيب بتقرحـــات فراش عميقة. ولكن هذه الأمـــور لم تكن موضوع رســـالة <جيســـك>. ما أقلقه هو **البكتيريـــا** bacterium التي ظهرت بشـــكل غير متوقع في المزرعة الروتينية لبول الرجل. هل سيكون <وولش> – الذي يدير مختبرا يحل ألغاز التركيبة الوراثيـــة للبكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية – مســـتعدا لإلقاء نظرة على هذه الجرثومة؟

وافـــق <وولش> وأجـــرى على الجرثومـــة المعزولة أكثر من اثنتي عشرة **مقايســـة** assays. إنها من نوع ***كلبسيلا نيموني*** ***(الكلبســـيلة الرئويـــة)*** *Klebsiella pneumoniae*، وهي البكتيريا التي تســـبب معظم الإنتانات **الرئوية** pneumonia والدموية عند مرضى المستشـــفيات. إلا أن هذه السلالة ضمّت شيئا جديدا، وهو جين لم يره <وولش> من قبل. وهذا الجين يجعل *الكلبسيلا*، المقاومة أصلا لكثير من المضادات الحيوية المستخدمة في طب العناية المركزة، غير حساسة للمجموعة الوحيدة من **المضادات الحيويـــة** antibiotics التـــي يمكن أن يعوّل عليها بشـــكل آمن وهي **الكاربابينيمات**[٢]، وتُدعى أدوية الملاذ الأخير. إن الدواء الوحيد الذي وجد الباحثون أنه يؤثر في هذه السلالة المقاومة من *الكلبسيلا* هو **الكوليستين** colistin، وهو دواء لم يعد مستخدما منذ سنوات بسبب تأثيراته السُميّة في الكليتين. سمّى <وولش> الإنزيم الذي ينتجه الجين (**نيودلهي ميتالولو- بيتا-لاكتميز**[٣] أو NDM-1) نســـبة إلى المدينة التي أصيب فيها الرجل بالإنتان قبل أن يعود إلى بلده السويد.

فكّـــر <وولش> في أنه إذا كانت هنـــاك حالة من هذا النوع فعلـــى الأرجح وجود حالات أخرى، وبدأ هو و <جيســـك> مع آخرين بالبحث عن هذه الحالات. وفي الشـــهر 2010/8 نشروا نتائـــج بحثهم في مجلة *لانست للأمراض الإنتانية LID*: لقد وجدوا 180 مريضـــا يحملون هذا الجـــين. كان الجين NDM-1

(*) THE ENEMY WITHIN العنوان الأصلي: عدو بداخلنا

(١) infection: إنتان أو عدوى.

(٢) carbapenems: أحد أنواع المضادات الحيوية.

(٣) New Delhi metallo-beta-lactamase

باختصار

نمط جديد من المقاومة نشـــأ بين مجموعة من البكتيريا التي تشـــكل تحديا خاصا، وتدعى **سلبيات الغرام** gram-negatives، وهو يهدد بتحويل العديد من أنواع الإنتانات الشائعة إلى إنتان غير قابل للعلاج.

الجينـــات البكتيريـــة المســـؤولة تجعـــل البكتيريـــا مقاومـــة للكاربينيمات، وهي مجموعـــة من المضادات الحيوية يُطلق عليها الملاذ الأخير. ويُطلق على أهم جينين ينقلان المقاومة اسم NDM-1 و KPC.

المقاومة للكاربابينيم في البكتيريا السلبية الغرام تثير القلق، على وجه الخصوص، لأن هذه البكتيريا موجودة في كل مكان وهي تتناقل الجينات بسهولة. إضافة إلى ذلك، لم تطور أدوية جديدة لمقاومة هذه البكتيريا بعد.

هذا الحشـــد مـــن العوامـــل يعني أن هناك عددا من الأشـــخاص في المستشـــفيات وفي المجتمع، على العموم، قد يموتون بســـبب أنواع من الإنتانات الجديدة غير القابلة للعلاج تصيب المســـالك البولية والدم وغيرها من الأنسجة.

المؤلفة

Maryn McKenna



<ماكينا> صحفية مستقلة في مجال العلوم ومدوِّنة على موقع (Wired): كتبت تقارير من مناطق تفشي الأمراض في معظم القارات. *وألَّفت كتاب* (الجرثومة الخارقة: التهديد القاتل **للعنقوديات الذهبية**[1] المقاومة للميثيسلين) *(free press, 2010)* *وكتاب* (هزيمة الشيطان: على الخطوط الأمامية مع مكتشفي الأمراض في برنامج الاستخبارات الخاصة بالوبائيات) *(free press, 2004)*.



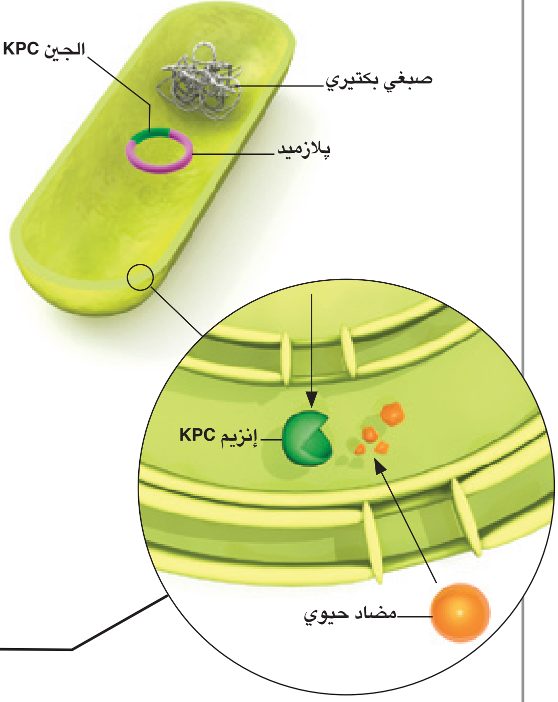
قد انتشر في جرثومة الكلبسيلا في الهند وباكستان وانتقل مؤخرا إلى المملكة المتحدة بواسطة مقيمين سافروا إلى جنوب آسيا طلبا للرعاية الطبية أو لزيارة أصدقائهم وعائلاتهم. والأسوأ من ذلك، أن هذا الجين انتقل في بعض الحالات إلى بكتيريا من جنس آخر – من *الكلبسيلا* إلى ***الإشريكية القولونية*** *Escherichia Coli*، التي تعيش في أمعاء جميع الكائنات ذات الدم الحار، وهي موجودة في كل مكان في بيئتنا. هذا الانتقال يزيد من إمكانية عدم خروج الجين من دائرة المستشفيات والإنتانات التي تحدث فيها، وتحركه بصمت خلال الحياة اليومية للناس في كل أنحاء العالم محمولا في بكتيريا تقطن في أمعاء الأشخاص العاديين، ومنتشرا بشكل خفي عبر المصافحة والتقبيل وقبضات الأبواب.

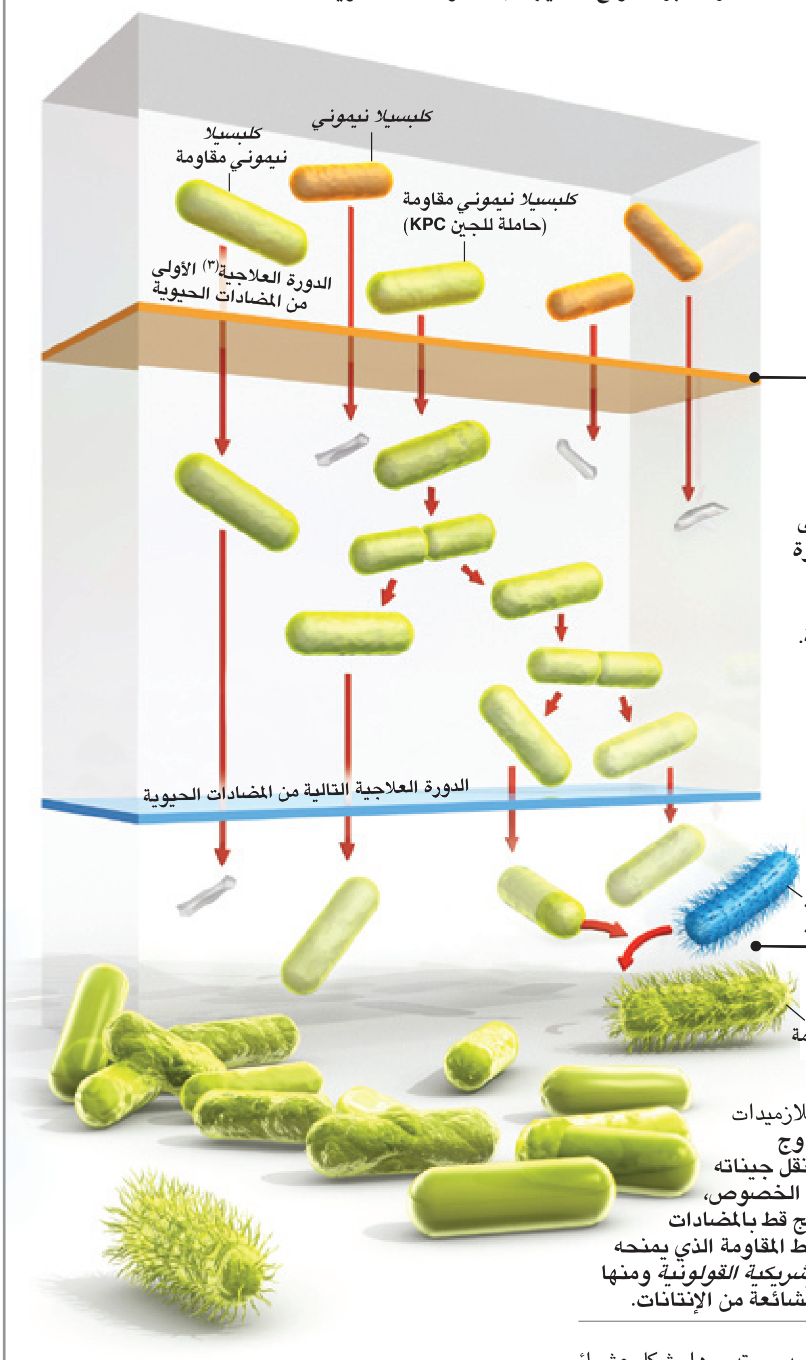
أثار هذا الاكتشاف احتمالا آخر: هذا التوازن الدقيق والمتذبذب ما بين **الجراثيم** bugs والأدوية، الذي بدأ منذ

(1) بكتيريا ستيفيلوكوكس أوريوس Staphylococus aureus المقاومة للميثسيلين Methicillin-resistant Staphylococus aureus (MRSA)

روليت[1] المقاومة[*]

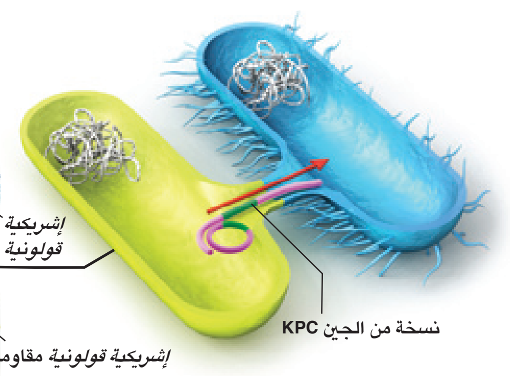
إن الاستخدام المتواصل للمضادات الحيوية، والذي عزّز المقاومة للأدوية بين أنواع البكتيريا، أنتج تهديدا جديدا مميتا. إن السلالة الجديدة، المصورة فيما يلي، بدأت بعدد قليل من البكتيريا *كلبسيلا* الحاملة للجين KPC، مما جعلها غير حساسة للمضادات الحيوية المعروفة بالكاربابينيمات. إن عدة جولات من العلاج غير الفعال أفسحت المجال أمام الجين KPC لكي يتكاثر. وما يقلق أكثر، كما هو مبين في اليمين، هو أن *الكلبسيلا* وغيرها من البكتيريا السلبية الغرام تتبادل بسهولة الجين KPC وجينات المقاومة الأخرى عبر الأنواع مما يجعلها مقاومة لكل الأدوية.





العلاج المكثف يشجع على نشوء ذريات مقاومة

في بيئة مليئة بالمضادات الحيوية، كوحدات العناية المركزة، والجراثيم التي تنجو وتتكاثر هي فقط الجراثيم المحتوية على جينات تجعلها مقاومة للمضادات الحيوية. في الصورة المكبرة أعلاه، قام الجين KPC بتكويد[2] إنزيم (*اللون الأخضر*) اندفع بسرعة لمهاجمة دواء الكاربابينيم (*اللون البرتقالي*) حتى قبل أن يتمكن الدواء من عبور الغلاف الخارجي المزدوج للجرثومة.



المقاومة تنتشر إلى أنواع جرثومية أخرى

يوجد جين المقاومة KPC على عرى من الدنا[4] DNA تدعى البلازميدات plasmids تمتد خارج صبغي الخلية البكتيرية. في أثناء تزاوج البكتيريا، تشكل الخليتان جسرا بينهما يسمح للبلازميد بنقل جيناته من خلية إلى أخرى. إن البكتيريا السلبية الغرام، على وجه الخصوص، متكيّفة لهذا النوع من النقل، مما يمكّن خلايا أخرى لم تعالج قط بالمضادات الحيوية من التحول إلى جراثيم مقاومة للأدوية. يصبح نمط المقاومة الذي يمنحه الجين KPC أكثر خطورة عندما ينتشر من *الكلبسيلا* إلى *الإشريكية القولونية* ومنها إلى الجراثيم الأخرى السلبية الغرام التي تسبب الحالات الشائعة من الإنتانات.

(*) Resistance Roulette

(١) الروليت: لعبة روسية يتم فيها وضع رصاصة في طاحونة المسدس وتدويرها بشكل عشوائي، ومن ثم إطلاق الزناد مع توجيه المسدس إلى الرأس.

(٢) تكويد: إدخال الكودات الجينية للإنزيم في صبغي الجرثوم مما يؤدي إلى إنتاج هذا الإنزيم.

(٣) الدورة العلاجية: الجرعات الدوائية التي تعطى للمريض خلال فترة محددة.

(٤) هو المادة الوراثية التي تحمل الجينات التي تحدد صفات الكائن الحي. (التحرير)

عام 1928 مع اكتشاف **البنسلين** penicillin، كان سيميل إلى صالح البكتيريا. وإذا كان هذا ما سيحدث حقا، فإن الإنتانات القاتلة التي حدّت منها المضادات الحيوية لعقود ستعاود الظهور للانتقام.

نمط جديد من المقاومة(*)

إن نهاية معجزة المضادات الحيوية ليست موضوعا جديدا. فطالما وجدت مضادات حيوية كانت هناك مقاومة لها، بل إن أول بكتيريا مقاومة للبنسلين ظهرت قبل وصول البنسلين إلى الأسواق في الأربعينات من القرن الماضي. ومنذ ذلك الوقت تقريبا، أطلق الأطباء صيحات التحذير من عدم فاعلية الأدوية، بدءا بالانتشار العالمي **للمتعضيات** organisms المقاومة للبنسلين في الخمسينات ثم المقاومة **للميثيسلين** methicillin في الثمانينات ثم المقاومة **للڤانكومايسين** vancomycin في التسعينات.

إلا أن التنبؤ بنهاية عصر المضادات الحيوية جاء هذه المرة من جزء مختلف من عالم الميكروبات. إن هذه الجينات التي تنقل المقاومة للكاربابينيم – ليست الجين NDM-1 وحسب، بل هناك مجموعة تختلط فيها العديد من الجينات – ظهرت خلال العقد الماضي تقريبا في مجموعة خاصة من البكتيريا التي تشكل تحديا خاصا وتسمى **سلبيات الغرام** gram-negative. هذه التسمية تستعير اسم عالم دانمركي عاش في القرن التاسع عشر، وهي تشير بشكل سطحي إلى الاستجابة لصبغة تلوِّن غشاء الخلية، ولكن مضمونها أكثر تعقيدا من ذلك. فالبكتيريا السلبية الغرام تتزاوج مع بعضها من دون تمييز، فهي تتبادل قطع الدنا بسهولة، بحيث إن جين المقاومة الذي ينشأ في *الكلبسيلا*، على سبيل المثال، يهاجر بسرعة إلى ***الإشريكية القولونية والأسينيتوباكتر*** *Acinetobacter* وغيرهما من أنواع البكتيريا السلبية الغرام. (في المقابل، يُرجح أن تتجمع جينات المقاومة في البكتيريا **الإيجابية الغرام** gram-positives ضمن النوع نفسه). كذلك يكون القضاء على سلبيات الغرام بالمضادات الحيوية أكثر صعوبة؛ لأنها تتمتع بغلاف مزدوج يصعب حتى على الأدوية القوية أن تخترقه ولديها دفاعات داخل الخلية أيضا. إضافة إلى ذلك، فإن خيارات علاجها أقل من خيارات علاج الجراثيم الأخرى. إذ إن شركات الأدوية في هذه الأيام، تصنع القليل من المضادات الحيوية من أي نوع من الأنواع، ولا تطوِّر أي مركبات جديدة ضد سلبيات الغرام المتغيرة والمستعصية على العلاج. كل ذلك يعني أن هذا المزيج من العوامل يمكن، لسوء الحظ، أن يؤدي بسهولة إلى تصدير كارثة من المراكز الطبية إلى المجتمع الأعمّ.

إن المقاومة للمضادات الحيوية من صنف الكاربابينيم قد أوصلت الإنتانات من المستشفى، *كالكلبسيلا* التي أصابت ذلك المريض السويدي، إلى حافة الإنتانات غير القابلة للعلاج. بعد الكاربابينيمات، هناك القليل من الأدوية لكن الأطباء يكرهون استخدامها، إما لأنها لا تستطيع الوصول إلى جميع الأماكن الخفية في الجسم التي تتكاثر فيها البكتيريا أو لأنها تصيب المريض بدرجة كبيرة من الإعياء بحيث يصبح استخدامها غير آمن.

مع عدم وجود أدوية جديدة تستطيع الشركات إيصالها إلى المستهلك وتكون قادرة على القضاء على الجراثيم القوية الأخيرة، قد نضطر إلى العيش مدة طويلة مع إنتانات مزعجة وغير قابلة للعلاج.

لكن، حتى وإن استعصت حالات الإنتانات على العلاج، فإنها تُشخّص عادة لأن المرضى المصابين بها – المسنين والعاجزين عن الحركة والراقدين في وحدة العناية المركزة – يكونون تحت المراقبة الشديدة. فما يطرد النوم من عيون مسؤولي الصحة، هو احتمال أن تنتقل الجينات المقاومة للكاربينيمات من دون أن ترصد إلى خارج المستشفيات وداخل المتعضيات التي تسبب الأمراض اليومية، *كالإشريكية القولونية* التي تسبب النسبة الأكبر من ملايين حالات إنتان المسالك البولية التي تحدث في الولايات المتحدة كل عام. يعطي <وولش> [مكتشف الجين NDM-1] مثالا عن امرأة تُراجِع طبيب العناية الأولية الخاص بها بما يبدو أنها مصابة بإنتان المثانة غير المصحوب بمضاعفات. وبما أنه لا يوجد سبب يدعو إلى الشك في وجود المقاومة، سيصف الطبيب أدوية لم تعد مؤثرة، في حين سينتشر الإنتان من دون أي عائق باتجاه القسم العلوي من المسالك البولية، ليصيب كليتيها، ثم لينتقل بشكل مدمّر إلى دمها. ويختتم <وولش> قائلا: «ولن يكون هناك أي دواء يمكن علاجها به».

(*) A NEW PATTERN OF RESISTANCE

تهديد عالمي[*]

بعد أربع سنوات من عزل الجين KPC لأول مرة من مستشفى غير محدّد في كارولينا الشمالية، لم يستطع أحد أن يجد دليلا على انتشاره. ولكن عندما سببت البكتيريا الحاملة للجين KPC أوبئة في عدة مستشفيات بمدينة نيويورك، كان ذلك دليلا على بداية الهجوم. انتقلت الجراثيم الصعبة القتل بسرعة إلى فرنسا وكولومبيا وكندا واليونان والصين. أما الوباء في إسرائيل فقد انتقل إلى إنكلترا والنرويج وعدة دول أوروبية.



خسارة معجزة المضادات الحيوية[**]

إن المعركة القائمة بين البكتيريا والأدوية منذ 83 عاما تقع ما بين ألعاب **ضرب الخُلد الترفيهية** Whack-a-Mole[١] والاستراتيجية النووية القائمة على **التدمير المتبادل المؤكد**[٢]. وفي مقابل كل مضاد حيوي تم صنعه حتى اليوم، طورت البكتيريا عامل مقاومة يحميها من هجوم هذا المضاد. ومقابل كل عامل مقاومة، أنتجت شركات الأدوية دواء أقوى – حتى الآن.

هذه المعركة مالت عبر العقود إلى صالح المتعضيات، مثل **نوّاسة**[٣] ينزاح مركز توازنها ببطء. إن التطور يعمل لصالح البكتيريا؛ فهي تستغرق 20 دقيقة لتنتج جيلا جديدا، أما الدواء فيستغرق تطويره والأبحاث المتعلقة به عقدا أو أكثر. إضافة إلى ذلك، إن أي استخدام – حتى الاستخدام المعقول – للمضادات الحيوية يؤدي إلى نشوء المقاومة من خلال ممارسة ما يسمى **بالضغط الانتقائي** selective pressure. وعادة ما ينجو بعض البكتيريات المحظوظة **بطفرات** mutations عشوائية من هجوم المضاد الحيوي، ثم تتكاثر مالئة المكان الحيوي الذي أخلته المضادات الحيوية بقتل أخواتها السريعة التأثر، وتمرر هذه الجينات التي ستحميها للأجيال التالية. (لذلك، من المهم تناول دورة المضادات الحيوية بشكل كامل: لقتل جميع البكتيريا المسببة للإنتان وليس فقط السريعة التأثر). ولكن المقاومة لا تنتقل بالوراثة فقط. وتستطيع البكتيريا اكتساب المقاومة من خلال تبادل قطع من الدنا، حتى من دون التعرض للدواء الذي تقوم الجينات بالحماية منه.

يمكنك رؤية هذا النمط من المقاومة التي تتفوق على أدوية سبق لها أن تفوقت على المقاومة في تطور ***المكورات العنقودية الذهبية (الستيفلوكوكس أورس)*** *Staphylococcus aureus*، وهي متعض إيجابي الغرام (ذو غشاء أحادي الطبقة): في البداية أصبحت غير متأثرة بالپنسيلين ثم بالپنسيلينات المصنعة – بما فيها الميثيسلين ولذلك اكتسبت اسم ***المكورات العنقودية الذهبية المقاومة للميثيسلين*** MRSA[٤] – ثم **بالسيفالوسپورينات** cephalosporins **كالكيفليكس** Keflex،

(*) Global Threat
(**) LOSING THE ANTIBIOTIC MIRACLE
(١) Whack-a-Mole: لعبة تحتوي على ثقوب تخرج منها مجسمات بلاستيكية لحيوان الخلد. ويكون اللعب بإعادة الحيوان إلى الثقب بضربه بمطرقة بلاستيكية، وكلما أعدت مزيدا من الحيوانات حصلت على درجة أعلى (تُشبِّه الكاتبة إعادة الخلد إلى الثقب بصناعة أدوية جديدة تقضي على الجراثيم الجديدة المقاومة للأدوية القديمة).
(٢) Mutually Assured Destruction
(٣) النواسة :لعبة مكونة من لوح خشبي يرتكز على محور موجود في منتصفه ويجلس الطفلان على طرفيه ويتناوبان الصعود والهبوط (في العامي الشامي: أبينو جعّيصو).
(٤) MRSA: Methicillin Resistant Staphylococcus Aureus

التحكم في الإنتان



بروتوكول دقيق(*)

غالبا ما يحمل العاملون في المجال الصحي البكتيريا المقاومة من دون أن يدروا بذلك. أُجبرت المستشفيات التي سيطرت على الإنتان المقاوم للكاربابينيمات على تطبيق إجراءات صارمة للنظافة والترصّد.

تعرّفْ

لتجنب دخول أي حالة دون اكتشافها تستخدم المستشفيات في فرنسا المسحات المأخوذة من المستقيم لفحص المرضى الجدد الذين لديهم تاريخ إصابة سابقة بإنتان مقاوم لعدة أدوية.

عقّمْ

على الأطباء والممرضات أن يقوموا بشكل منتظم بغسل أيديهم وارتداء القفازات. يتم تنظيف المرضى بالمعقمات كل يوم. تُعقم كل الأسطح في غرفهم بما في ذلك لوحات أزرار الحاسوب.

راجعْ

تفحص العينات المخبرية باستمرار وتُعدّل إجراءات التحكم في الإنتان إلى أن يتم التخلص من الجراثيم المقاومة لعدة أدوية.

ثم **بالڤانكومايسين** vancomycin، وهو خط الدفاع الأخير ضد المكورات MRSA. اتبعت سلبيات الغرام نمطا مشابها، فقد أبطلت تأثير البنسيلينات ثم السيفالوسبورينات ثم **الماكروليدات** macrolides (**إريثروميسين** erythromycin و**آزيثروميسين** azithromycin أو **زيثروماكس** Zithromax) و**اللينكوزاميدات** lincosamides (**ڤانكوميسين** vancomycine). ولكن إلى وقت قريب جدا، كان باستطاعة الكاربينيمات أن تقضي بشكل آمن وموثوق به على الإنتانات الأكثر **استدامة**(1) persistent، مما جعلها الملاذ الأخير ضد البكتيريا السلبية الغرام، أي الحاجز الأخير بين الإنتانات القابلة للعلاج وتلك غير القابلة للعلاج. كانت الكاربينيمات غير مكلفة، ويمكن الاعتماد عليها، وذات طيف واسع أي إنها تعمل ضد الكثير من المتعضيات، كما كانت قوية جدا جدا.

قد نتمكن من إيجاد مخرج من هذه المعضلة بابتكار نوع جديد من المضادات الحيوية - على الأقل حتى تتمكن البكتيريا من مقاومته مرة أخرى. ولكن مع عدم وجود أدوية جديدة تستطيع الشركات إيصالها إلى المستهلك خلال 10 سنوات وتكون قادرة على القضاء على الجراثيم القوية الأخيرة، قد نضطر إلى العيش مع مخاطر أنواعٍ عديدة من الإنتانات غير القابلة للعلاج ولفترة طويلة إلى حدٍّ مزعج.

«من الصعب اكتشاف مركبات جديدة تعمل ضد سلبيات الغرام من غير أن تكون سامة للبشر»، هذا ما يقوله D. <شاليس> [طبيب ومستشار في تطوير الأدوية](2). ويقول: «عندما تفكر في الموضوع، فإن ما تحاول فعله بالمضاد الحيوي هو محاولة قتل شيء يعيش في داخلنا من دون أن يسبب ذلك الأذى لنا، إنه تحدٍّ». إن الدواء الأحدث الذي رُخِّص له لعلاج الإنتانات التي تسببها سلبيات الغرام هو **دوريبينيم** doripenem، هو كاربينيم، وقد تمت الموافقة عليه من قبل **إدارة الغذاء والدواء**(3) في عام 2007.

سيكون الوضع خطيرا حتى وإن اقتصر فقط على المئات من الحالات التي أظهرت الجين NDM-1 حتى الآن. ولكن في السنوات الخمس الأخيرة انتقل بسرعة عبر العالم جين آخر يحمل مقاومة مشابهة ويدعى الجين KPC اختصارا **لكاربابينيميز** ***الكلبسيلا نوموني (الكلبسيلة الرئوية)*** *Klebsiella pneumoniae* carbapenemase. ويبدو أنه يتبع النمط الذي اتبعته المتعضيات المقاومة للبنسلين في الخمسينات والمكورات MRSA في التسعينات: بدأ أولا كوباء بين مرضى المستشفيات سريعي التأثر ثم الانتشار في المجتمع على نطاق أوسع.

كشف تهديد خفي(**)

عندما نشر <وولش> و <جيسك> نتائج أبحاثهما عن الجين NDM-1 في *مجلة لانسيت للأمراض الإنتانية* في

(*) Exacting Protocol

(**) UNCOVERING A HIDDEN THREAT

(1) الاستدامة: المقاومة للأدوية.

(2) مؤلف كتاب المضادات الحيوية: العاصفة الكاملة (منشورات سبرينگر، 2010).

(3) the Food and Drug Administration

صيف عام 2010، أثار مقالهما رعبا عالميا على الفور، واتخذ مسؤولو الصحة في الهند موقفا هجوميا، متهمين الأطباء الغربيين بأنهم يحاولون - بدافع الحسد - التقليل من شأن صناعة السياحة الصحية التي راجت في الهند بشكل كبير.

لم يُثر الاكتشاف الأول للجين KPC ضجيجا مماثلا. لقد ظهر بهدوء في واحدة من مئات العينات البكتيرية التي جمعت عام 1996 من المستشفيات في 18 ولاية أمريكية. كان المشروع الذي طلب هذه العينات، وسمي **أيكير** (ICARE) **مشروع وبائيات المقاومة للمضادات الحيوية في العناية المركزة**[1]، جهدا مشتركا بين **مراكز الوقاية من الأمراض والتحكم فيها بأتلانتا**[2] وجامعة إيموري المجاورة. كان هدف هذا البرنامج رَصْدُ الطريقة التي تستخدم بها المضادات الحيوية في وحدات العناية المركزة وأقسام المستشفيات الأخرى، أملا برصد المكان الذي قد ينشأ عنه المتعضي التالي المقاوم للأدوية.

لقد تبين أن إحدى الجراثيم المعزولة من عينة مرسلة من مستشفى في كارولينا الشمالية لم يُعلن عن اسمه، هي *الكلبسيلا*. لم يكن ذلك أمرا غير مألوف. إنها إنتان شائعة في المستشفيات، ويكاد يكون عاقبة لا يمكن تجنبها للعلاج في العناية المركزة؛ إذ يؤدي استخدام كميات كبيرة من المضادات الحيوية الواسعة الطيف إلى الإخلال بإيكولوجيا الجهاز الهضمي ويسبب الإسهال، الذي يلوث البيئة المحيطة بالمرضى وأيدي عاملي الرعاية الصحية الذين يعالجونهم. يقول <A. سرينيڤاسان> [المدير المساعد في **مراكز التحكم في الأمراض** (CDC's)[3] والمسؤول عن برامج الوقاية من الأمراض التي تشارك فيها مراكز الرعاية الصحية]: «عندما تفكر في مريض يرقد في وحدة العناية المركزة، تحت تأثير المسكنات، وموضوع على جهاز **التهوية الرئوية** ventilator، فهو لا يستطيع النهوض والذهاب إلى المرحاض»، ويقول أيضا: «إذا كان المرضى مصابين بالسلس البولي، فيجب على فريق الرعاية الصحية أن ينظفهم. وهناك الكثير من المعدات القريبة من المريض والكثير من الأسطح التي يمكن أن تتلوث.»

إذا لم تكن الإصابة *بالكلبسيلا* في وحدة العناية المركزة أمرا مفاجئا، فإن نتائج تحليلها كانت مفاجئة. وكما كان متوقعا، كانت العينة القادمة من كارولينا الشمالية مقاومة لقائمة طويلة من المضادات الحيوية بما فيها البنسيلين وبعض الأدوية الأخرى القريبة منه. ولكن العينة كانت مقاومة أيضا لنوعين من الكاربابينيمات - **إيميبينيم** imipenem و**ميروبينيم** meropenem - والتي كانت *الكلبسيلا* تستجيب لها دائما. لم تكن العينة مقاومة بشكل كامل، ولكن نتائج الاختبار في المركز CDC بينت الحاجة إلى كميات كبيرة على نحو استثنائي من الكاربابينيمات لمعالجة أي إنتان تسببه هذه البكتيريا. إن الإنزيم الذي يمنح هذه المقاومة يهاجم أدوية الكاربابينيم حتى قبل أن تتمكن من عبور الغشاء الداخلي لجدار البكتيريا.

لم يرَ أحدٌ من قبل طراز مقاومة يشبه الجين KPC. لقد جعلت مهمة المختصين بالوبائيات صعبة - وكأنهم يسمعون بصعوبة صوت إنذار بعيد. يقول <J. B. پاتل> [نائب مدير مكتب مقاومة المضادات الحيوية التابع للمراكز CDC's]: «كان نوعا جديدا من المقاومة، ولكن عندما تعزل عينة واحدة، لا تعرف إلى أي حد ستكون شائعة»، ويقول أيضا: «منذ فترة طويلة لم نعثر على عينات من هذا النوع.»

تفشي المرض في نيويورك(*)

ظلت عينة *الكلبسيلا* القادمة من كارولينا الشمالية مصادفة مثيرة للقلق. وفي منتصف عام 2000 بدأ المرضى في أربع وحدات للعناية المركزة في مستشفى تيش[4]، وهي جزء من مركز لانگون الطبي التابع لجامعة نيويورك[5] على الجانب الشرقي من مانهاتن، يصابون بإنتانات قوية وغير معتادة سببها *الكلبسيلا* وكانت مقاومة تقريبا لكل أصناف الأدوية التي يرغب أطباء العناية المركزة في استخدامها. كانت المرة الأولى التي يرى فيها أطباء جامعة نيويورك إنتانات مقاومة للكاربابينيمات. أصيب أربعة عشر مريضا بذات رئة وإنتانات جراحية وإنتانات دموية شديدة المقاومة للأدوية، في حين كان هناك عشرة مرضى يحملون الجرثومة الحاملة للجين KPC من دون أن تظهر عليهم أي أعراض. توفي ثمانية من المرضى الأربعة والعشرين. وقد اكتشف المستشفى بالتحليل أن سلالة *الكلبسيلا* التي أصيب بها هؤلاء المرضى تحمل الجين KPC ذاته الذي اكتُشف في العينة الأصلية القادمة من كارولينا الشمالية.

(*) OUTBREAK IN NEW YORK

(1) Project Intensive Care Antimicrobial Resistance Epidemiology

(2) the Atlanta-based Centers for Disease Control and Prevention

(3) the Control Disease Centers

(4) TISCH HOSPITAL

(5) NEW YORK University's Langone Medical Center

وسرعان ما ستتعلم المستشفى أيضا صعوبة احتواء الميكروب المقاوم. وبسبب عدم فعالية الكثير من الأدوية، كان الخيار الوحيد هو تعزيز الأسلوب القديم في التشديد على النظافة، للتأكد من أن البكتيريا المقاومة لا تنتقل عبر أيدي العاملين في الرعاية الصحية من دون علمهم. وضع مركز لانگون الطبي المرضى في العزل، وطلب إلى الأشخاص الذين يدخلون إلى غرفهم أن يرتدوا الكمامات والقفازات. وقد راقبوا عن كثب غسل الأيدي باستخدام المعقمات، وعندما وجدوا أن هذه الإجراءات غير كافية، غيروا حلول النظافة المستخدمة في وحدات العناية المركزة. وعندما استمرت الإنتانات ركزوا على رعاية المرضى المصابين، ووجدوا أن بعضا منهم ممن كانوا مصابين بالتهاب المسالك البولية كانوا يلوّثون البيئة والعاملين في الرعاية الصحية أثناء تغيير أكياس جمع البول. لقد استغرقت السيطرة على الوباء نحو عام.

بعد عامين ظهرت الجراثيم نفسها ذات المقاومة العالية في مستشفيات بروكلين، مما عزّز الاقتناع بصعوبة السيطرة على جرثومة *الكلبسيلا* الحاملة للجين KPC. وقد اكتشف أحد المستشفيات مريضين مصابين بالإنتان في الشهر 2003/8، فوضعهم في العزل، وقام مباشرة بتعزيز إجراءات التحكم في الإنتانات، ومع ذلك كان لديه في نهاية الشهر 2004/2 ثلاثون مريضا مصابا بها. أحد هؤلاء المرضى تم تشخيص إصابته في الشهر 2003/12، ومريضان آخران شُخصت إصابتهما في الشهر 2004/2 و24 مريضا شُخّصت إصابتهم في نهاية الشهر 5، كل هؤلاء أصيبوا داخل المستشفى على الرغم من الجهود الجبارة التي بُذلت لوقف انتشار الميكروب.

لقد ظهرت البكتيريا الحاملة للجين KPC في مستشفى هارلم حيث سببت سبع حالات إنتانات دموية في ربيع عام 2005؛ ولم ينجُ منها إلا مريضان. كما ظهرت في مركز جبل سيناء الطبي في الجزء الشرقي الشمالي من نيويورك، حيث بدأ الباحثون بفحص جميع المرضى المقبولين في وحدات العناية المركزة الثلاث أملا بالسيطرة على الوباء المنتشر بسرعة. لقد ساعد ما وجدوه على اكتشاف السبب الذي جعل من البكتيريا مشكلة عويصة؛ إذ كان 2% من مرضى أقسام العناية المركزة يحملون السلالة المقاومة من دون أن يظهروا أعراضا لكنهم كانوا يعرّضون الآخرين لخطر الإصابة بالإنتان.

لقد أصبحت مستشفيات نيويورك مرتعا لتكاثر الجراثيم المقاومة، وهو ما أكدته الأرقام الصادرة عن الهيئات الاتحادية.

وفي عام 2007، فإن نسبة 21% من عينات *الكلبسيلا* التي جُمعت من مدينة نيويورك كانت تحمل الجين KPC، مقارنة بنسبة 5% من العينات التي جُمعت من بقية أنحاء البلاد. وفي عام 2008 ذكر أحد مستشفيات نيويورك أن معدّل الإصابات بالجرثومة الحاملة للجين KPC ارتفع لديها بنسبة 38%.

بالتعريف، يعاني المرضى الراقدون في وحدات العناية المركّزة أمراضا شديدة: رضوضاً، سرطانا، قصورا في أجهزة الجسم الرئيسية، بحيث تكون أسباب وفاتهم معقّدة ويصعب تحديد سبب واحد. ولكن في حالات محددة أصيب فيها المرضى بالجرثومة الحاملة للجين KPC، لم يكن هناك شك في سبب الوفاة، كما يقول ‹J. كويل› [وهو أستاذ مساعد في الطب بمركز داونستيت الطبي (DSC) في بروكلين] وقد عالج بعض الحالات الأولى في نيويورك: «من الواضح أن هناك حالات فَشِلَ فيها العلاج على الرغم من جميع الجهود التي بُذلت»، ويضيف: «والمريض مات».

انتشار عالمي(*)

انتشرت *الكلبسيلا* الحاملة للجين KPC انطلاقا من نيويورك. في البداية وجدتْ في الأماكن التي غالبا ما يسافر سكان نيويورك منها وإليها – نيو جيرسي، أريزونا، فلوريدا – ثم وجدت في أماكن أبعد.

لا تُعتبر المقاومة للكاربابينيمات من الأمراض التي يجب التبليغ عنها، أي إنها ليست من الأمراض التي يجب على المختبرات الطبية أن تبلّغ السلطات الصحية العامة عندما تقوم بتشخيصها. لذلك، فإن مدى انتشار الجين KPC غير معروف. ومع ذلك، في عام 2009 اكتشف نصف عدد مستشفيات شيكاغو الجين KPC في بعض مرضاها على الأقل. وبعد عام ارتفعت نسبة مستشفيات شيكاغو التي ذكرت وجود الجين KPC إلى 65%. وفي نهاية عام 2010 كانت البكتيريا الحاملة للجين KPC قد أصابت مرضى المستشفيات في 37 ولاية. وعندما بدأ المركز CDC بمتابعة الجرثومة، اكتشف المسؤولون أن المستشفيات لم تكن مستعدة لوصوله. يقول ‹پاتل›: «رأينا ولعدة مرات أن العينة التي أُرسلت إلينا لم تكن الإصابة الأولى في المستشفى، وعندما راجعوا البيانات الموجودة لديهم، وجدوا حالات سابقة، ولكن هذه الحالات لم تلفت انتباه أحد.»

في الشهر 2005/2 طلب رجل في الثمانين من عمره مصاب بسرطان البروستات منذ 5 أعوام، علاجا إسعافيا

(*) GLOBAL SPREAD

في مستشفى مجاور للمكان الذي يقطن فيه في باريس، وبعد أن تمّ قبوله في المستشفى اكتشف الأطباء أنه أحضر معه *الكلبسيلا* الحاملة للجين KPC من عملية جراحية أجراها في مدينة نيويورك قبل عدة أشهر. وكان ذلك أول انتقال معروف للجين KPC من الولايات المتحدة إلى بلد آخر، لكنه لم يكن الأخير. وبعد فترة قصيرة وجدت المتعضيات الحاملة للجين KPC في كولومبيا وكندا والصين واليونان. وسببت وباء لـ45 مريضا في مستشفى تل أبيب وانتقلت من خلال المرضى والعاملين في الرعاية الصحية إلى إنكلترا والنرويج والسويد وبولندا وفنلندا والبرازيل وإيطاليا.

ماذا بعد؟(*)

ينظر مسؤولو الصحة الآن إلى الانتشار العالمي لمقاومة الكاربابينيمات - من الجين KPC إلى الجين NDM-1 وغيرهما من الجينات - على أنه «حدث صحي عام يثير قلق العالم»، كما وصفته منظمة الصحة العالمية في الشهر 2010/11 (لقد جعلت هذه المنظمة «المقاومة ضد المضادات الحيوية وانتشارها العالمي» موضوعها في يوم الصحة العالمي الذي تعقده سنويا بتاريخ 4/7). وسَبَبُ هذا الإعلان هو أنه لا يمكن فعل الكثير لإيقاف المتعضيات المقاومة للكاربابينيمات: فالقليل فقط من المضادات الحيوية ما زال يعمل ضدّها، وما زالت الأدوية بعيدة عن الفعالية.

ما زال معظم هذه الإنتانات يستجيب **للتيگيسايكلين** tigecycline، و**الكوليستين** colistin وهو دواء عمره عدة عقود. كان التيگيسايكلين الذي أُطلق عام 2005 أول دواء من صنف جديد من المضادات الحيوية سمّي **گلاسيلسين** glycylcylines؛ لأن البكتيريا لم تعهد آلية عمله من قبل فإنها ستكون بطيئة في تطوير مقاومة ضده. ولكن التيگيسايكلين لا ينتشر بشكل جيد عبر الدم أو في المثانة، مما يجعله غير فعال في الإنتانات الدموية أو التهاب المسالك البولية التي يسببها الجينان KPC و NDM-1. (كما أن إدارة الغذاء والدواء في عام 2010 أضافت إلى التحذيرات الخاصة بالتيگيسايكلين أن بعض المرضى المصابين بالإنتانات الحادة يواجهون زيادة غير مبررة في خطر الموت). في المقابل، ينتمي الكوليستين إلى صنف محدود من الأدوية يُدعى **البوليميكسين** polymyxins يعود إلى الأربعينات من القرن العشرين، ولديه مشكلاته الخاصة به: إضافة إلى سمعته القديمة بإيذاء الكليتين، فهو لا يخترق الأنسجة بشكل جيد. هذه المشكلات منعت استخدامه على نطاق واسع لعدة عقود، وربما هذا ما جعله يحافظ على فعاليته طوال هذه المدة - أمّا وقد ازداد استخدامه في السنوات الأخيرة، فإن المقاومة ضده ازدادت أيضا.

ما عدا التيگيسايكلين والكوليستين، تقريبا لا توجد لدينا أدوية أخرى. ما بين عامي 1998 و 2008 وافقت إدارة الغذاء والدواء على 13 مضادا حيويا جديدا، ثلاثة منها فقط تعمل بآليات جديدة لا تمتلك البكتيريا مقاومة ضدها. وفي عام 2009 كثّفت جمعية الأمراض الإنتانية في أمريكا (IDSA) جهود الأبحاث حول مضادات حيوية جديدة. ومن بين مئات طلبات الموافقة على أدوية جديدة التي تقدّم كل عام إلى إدارة الغذاء والدواء، كان هناك 16 مضادا حيويا في مراحل مختلفة من التطوير. ثمانية من هذه المضادات كانت موجهة إلى علاج البكتيريا السلبية الغرام، ولكن عدد المضادات الحيوية التي يمكن استخدامها ضد سلبيات الغرام ذات المقاومة العالية كالبكتيريا الحاملة لجيني KPC و NDM-1 بلغ الصفر.

هذه الإحصائيات توضّح القضية: من دون أن تصرّح بذلك بشكل واضح، قررت معظم شركات الأدوية أنه من الصعوبة بمكان تطوير الأدوية التي تعالج الإنتانات المقاومة للكاربابينيم، كما أنها ستستخدم لفترة قصيرة قبل أن تتطور المقاومة ضدها، مما يجعلها لا تستحق الوقت المبذول في البحث عنها وتطويرها. يقول ‹وولش›: «وصلنا الآن إلى مرحلة نحتاج فيها إلى البدء الجدي باستثمار الكثير من المال في تطوير مركبات جديدة لم نرها من قبل، والأهم من ذلك، لم ترها البكتيريا من قبل. ونحن لا نحتاج إلى مركب أو اثنين، نحن بحاجة إلى عدد يتراوح بين 10 إلى 20».

لقد أجبر الوباء الآخذ بالتوسع المستشفيات على إعادة تقييم فعالية إجراءات التحكم في الإنتان التي تتبعها. تقول المؤسسات التي استطاعت لجْمَ البكتيريا إن الجهد المبذول يتطلب تركيزا شديدا. وتتضمن هذه البروتوكولات غسل المرضى بالمعقمات كل يوم وتنظيف الأسطح في غرف المرضى وصولا إلى أصغر الوصلات والزوايا في أجهزة المراقبة والحاسوب بمعدل مرة كل 12 ساعة. يقول ‹M. فيليپس› الذي يرأس التحكم في الإنتان في مركز لانگون الطبي، أحد الأماكن التي تعرضت للوباء في نيويورك: «أشعر بالقلق إزاء تعقيم الأسطح. إنها الأماكن التي عادة ما تفشل المستشفيات في تعقيمها». لقد ساعد ‹فيليپس› على استحداث مشروع «فريق التنظيف» الذي يجمع بين خبراء التحكم في الإنتان

(*) WHAT NEXT?

وعمـــال خدمات المباني في المستشـــفى؛ حيــث خفّض هذا الفريق عدد الإنتانات المكتســبة في مراكز الرعاية الصحية في الشهور الستة الأولى من عمله.

يظهـــر أحدث تقارير الجين KPC إلـــى أي مدى يجب أن يكـــون العاملون في مراكز الرعايـــة الصحية حريصين على النظافـــة. في عام 2010 أصيب 28 مريضا في مستشـــفيين فرنسيين *بالكلبسيلا* المقاومة بفعل منظار الجهاز الهضمي، وهو مجهـــز بألياف بصرية مرنة، يتم إدخاله عبر الحلق إلى الجهاز الهضمي. ظن المستشـــفيان أنهمـــا عقّما أدواتهما، ولكن الجين KPC نجا من التعقيم.

تعزز فـــرق الرعاية الطبية عمليـــات الرصد أملا بتحديد المرضى الحاملين للجرثومة بحيث يمكن عزلهم قبل أن يعدوا الآخرين. فرنسا، على ســـبيل المثال، أدخلت فحصا إجباريا باســـتخدام مسحات من المســـتقيم لكل مرضى المستشفيات الذيـــن أدخلوا المستشـــفى في دول أخرى بســـبب الإصابة بإنتـــان مقاومة لعدة أدوية وذلك فـــي اليوم الأول من دخولهم إلى أي مستشفى فرنســـي. «في المستشفى الذي أعمل فيه، كان لدينا مريض منقول من المغرب، حامل للجرثومة المقاومة للكارپينيمـــات»، هذا ما يقوله ‹P. نوردمان› [رئيس قســـمَيْ البكتيريا والڤيروسات في مستشـــفى پيستر بباريس] الذي عالج أول حالة مصابة بالجين KPC عام 2005، ويقول: «عزلنا المريض، وأطلقنا جرس الإنذار، وتجنبنا الوباء».

في عام 2009 نشـــر المركز CDC إرشـــادات موسّـــعة لمســـاعدة المستشـــفيات على التحكم في البكتيريا المقاومة للكارباپينيمـــات. علـــى كل حال، لم تـــوصِ الوكالة باتباع الاستراتيجية الفرنســـية القاضية باختبارِ كل مريض قبل قبوله في المستشـــفى، قائلـــة إن البكتيريا لم تنتشـــر بعد فـــي كل البلاد إلى الحد الذي يبـــرر التكلفة والوقت الذي تستغرقه هذه العملية.

إن إبقـــاء المتعضيـــات المقاومـــة للكارباپينيمات خارج المستشفيات ليس مهما فقط للتحكم في الوباء بين المرضى المقعدين وحسب، بل هو ضروري أيضا لمنع انتشارها إلى عاملـــي الرعاية الصحية. يظن ‹كويـــل› وغيره ممن وثّقوا تحـــرك الجين KPC عبر نيويورك أنه مـــن المحتمل أن هذه الجراثيم انتقلت بواســـطة الأطبـــاء والممرضات والموظفين الذين يعملون في عدة مؤسســـات ممن حملوا الجراثيم من دون علمهم. كما أنه من المهـــم أكثر منع البكتيريا الحاملة للجين KPC من مشـــاركة جيناتها المقاومة مع أنواع أخرى مـــن البكتيريـــا، مثل *الإشـــريكية القولونيـــة* الموجودة في المستشفيات والمنتشرة خارجها أيضا. مثل هذه *الإشريكية القولونية* المقوّاة بالجين KPC قد تتســـرب من المستشـــفى بحيث تصبح خارج نطاق أي رصد.

حصل هذا التســـرب، في حالـــة واحدة على الأقل. وفي عام 2008 عالج الأطباء رجلا مســـنّا جاء إلى مستشـــفاهم في حالة مرض شـــديد من دون أن يوجد لديه ما يشير إلى وجود مقاومة للكارباپينيم. وخلال شـــهر تحرك الجين KPC من الإنتان التي ســـببته *الكلبسيلا* إلى *الإشريكية القولونية* المقيمـــة في أمعاء الرجل، فأوجد بذلك ســـلالة مقاومة جدا لكنها كانت ما تزال تســـتجيب لجرعات عالية من المضادات الحيوية. وهذا الانتقال للجينات حدث في المستشـــفى تحت **الضغـط التطوري** evolutionary pressure للأدوية التي كان المريض يتلقاها. ولكن في الشـــهر 1 من عام 2011 ســـجل الباحثون في هونـــغ كونغ حدوث انتقال للجينات في العالم الخارجي أيضا. وأحد المرضى الذين راجعوا عيادة محلية خارجيـــة كان يحمل بشـــكل صامت *الإشـــريكية القولونية* الحاملة للجين NDM-1. ولم تشـــر الســـجلات إلى أن ذلك الرجل دخل المستشفى من قبل.

وبالنظر إلى المستقبل، يرى الباحثون أن سلالات مقاومة من البكتيريا الســـلبية الغرام سوف تظهر قبل فترة طويلة من تطوير الأدوية القادرة على علاجها. ولا يحتاج البعض إلـــى تخيل ذلك وهو يحدث، فهـــم يرونه حقيقة على أرض الواقع. فقبل ثلاثة أعوام عالج الأطباء في مستشفى سانت ڤنسنت[1] بمانهاتن مريضين مصابين *بالكلبسيلا* التي كانت مقاومة لذخيرة هذه المستشفى من الأدوية. وأحد المريضين نجا، والآخر توفّي. وقد كتبوا في مجلة طبية «إنه لأمر نادر لطبيب في العالم المتطور أن يموت مريضه بإنتان شـــديد لا يوجـــد خيارات لعلاجه.» فما لـــم يتباطأ تطور البكتيريا أو يتســـارع تطوير الأدوية، فـــإن مثل هذه الحالات قد تصبح شائعة جدا. ■

(١) St. Vincent's Hospital

مراجع للاستزادة

Carbapenem-Resistant Enterobacteriaceae: A Potential Threat. M. J. Schwaber and Y. Carmeli in *Journal of the American Medical Association,* Vol. 300, No. 24, pages 2911–2913; December 24, 2008.

The Spread of *Klebsiella pneumoniae* Carbapenemases: A Tale of Strains, Plasmids, and Transposons. L. S. Munoz-Price and J. P. Quinn in *Clinical Infectious Diseases,* Vol. 49, No. 11, pages 1736–1738; December 1, 2009. **http://cid.oxfordjournals.org**

Does Broad-Spectrum Beta-Lactam Resistance Due to NDM-1 Herald the End of the Antibiotic Era for Treatment of Infections Caused by Gram-Negative Bacteria? P. Nordmann et al. in *Journal of Antimicrobial Therapy.* Published online January 28, 2011.

Scientific American, April 2011

مئة تريليون وصلة[*]

إن صخب بلايين خلايا الدماغ وهي تحاول الاتصال فيما بينها، قد يحمل مفتاحا حاسما لحل لغز الوعي وفهمه.

<C. زيمر>

يستقر **نورون**[1] neuron مفرد في **طبق پتري** petri dish، مُفرقعــا بما يعبر عن اطمئنانـــه بوحدته، إذ يطلق تلقائيا من وقت لآخر موجة كهربية تنتشر على طوله. وإذا قمت بتعريض إحدى نهايتي النورون لنبضات كهربية، فقد يستجيب بموجات إضافيـــة قُلطية مدببة. وإذا غمرته في نواقل عصبية مختلفة، فيمكنـــك تعديل قوّة موجاته الكهربيـــة وتوقيتها. إنّ النورون وحده في طبقه لا يســـتطيع فعـــل الكثير، لكن وصل 302 من النورونات معا يولّد جملة عصبية من شـــأنها أن تحافظ على الدودة المدوَّرة (***كينورهابديتيس إيليگانس*** *Caenorhabditis elegans*) حية؛ أي تجعلها قادرة على الشعور ببيئتها المحيطة واتخاذ القرارات وإصدار الأوامر إلى جســـمها. أما وصل 100 بليون نورون معا عبر 100 تريليون وصلة، فهذا ما يشكل دماغ الإنسان القادر على عمل ما هو أكثر بكثير.

لا يزال الغموض يكتنف كيفية تشكل عقولنا من حشد كبير من النورونات التي نمتلكها. إنه نوعٌ من الأســـئلة التي لا تزال العلوم العصبيـــة، مع انتصاراتها، عاجـــزة عن الإجابة عنه. يكرّس بعض علماء الجهاز العصبي مسيرة حياتهم المهنية في دراسة طرائق عمل النورونات الفردية، في حين يختار آخرون مجالا أكثر تعقيدا؛ فقد يبحثون، على ســـبيل المثال، في كيفية تكويد **الحُصين** hippocampus لمختلف أنواع ذكرياتنا، وهو – أي الحصين – بنية عنقودية مكونة من ملايين النورونات. وقد ينظر آخرون إلى الدماغ من منظور أكثر شـــمولا، فيلاحظون جميع المناطق التي تنشط عندما نؤدّي مهمّة معيّنة، كالقراءة أو الإحساس بالخوف. أما الذين حاولوا تأمل الدماغ بمستوياته المتعـــددة معا فعددهم قليل. وما نشـــهده من تكتم لدى هؤلاء تعود أسبابه جزئيا إلى حجم التحدي الكبير الذي يواجهونه، فتآثرات عدد قليل من النورونات يكفي وحده لإحداث تشويش في الحشـــد الكبير من **الاســـتجابات الارتداديـــة** feedbacks. وإذا أضفنـــا 100 بليون نورون آخر إلى هذه المســـألة، فلا بد لجهودنا عندئذ من أن تواجه صداعا كونيا.

ومـــع ذلك، فإن بعض علماء الجهـــاز العصبي يعتقدون أنـــه قد حان الوقت للتصدي لهـــذا التحدي، ويدعمون ذلك بحجة منطقية تفيد بأنه من المستحيل أن نفهم بصورة فعلية الكيفية التي يولّد بها الجهاز العصبي العقل إذا بقينا نتأمل الدماغ مقســـما إلى قطع منفصلـــة لا رابط بينها. إن النظر إلـــى أجزاء الدماغ المختلفة خارج ســـياق كليته هو أشـــبه بمحاولة فهم كيفية تجمد الماء من خلال دراسة جزيء واحد منـــه، «فالثلج» تعبيرٌ لا معنى له في عالم الجزيئات المفردة، بل يتشـــكل فقط مـــن تآثر عدد كبير مـــن الجزيئات عندما تتجمع وتتحول إلى بلورات.

(*) 100 TRILLION CONNECTIONS

(1) neuron أو عصبون.

باختصار

لا يستطيع النورون بمفرده أن يفعل الشيء الكثير، لكن بضع مئات من النورونات المتشـــابكة فيما بينها وجهاز عصبي بدائي، قادران على توليد نظام معقد يمكّن الدودة من الحركة.

ازدياد عـــدد النورونات يعني زيادة تعقيد **المتعضي (الكائن الحي)** organism. والاهتمام المحوري للعلوم العصبية هو اكتشاف الطريقة التي تعمل بها بلايين النورونات لتوليد العقل البشري.

بدأ علماء الجهاز العصبي بكشـــف تعقيد الدمـــاغ من خلال تبنّي منهاج البحث في النظم المعقدة الأخرى، بدءا من **الشيپات الحاسوبية** computer chips وحتى سوق الأسهم.

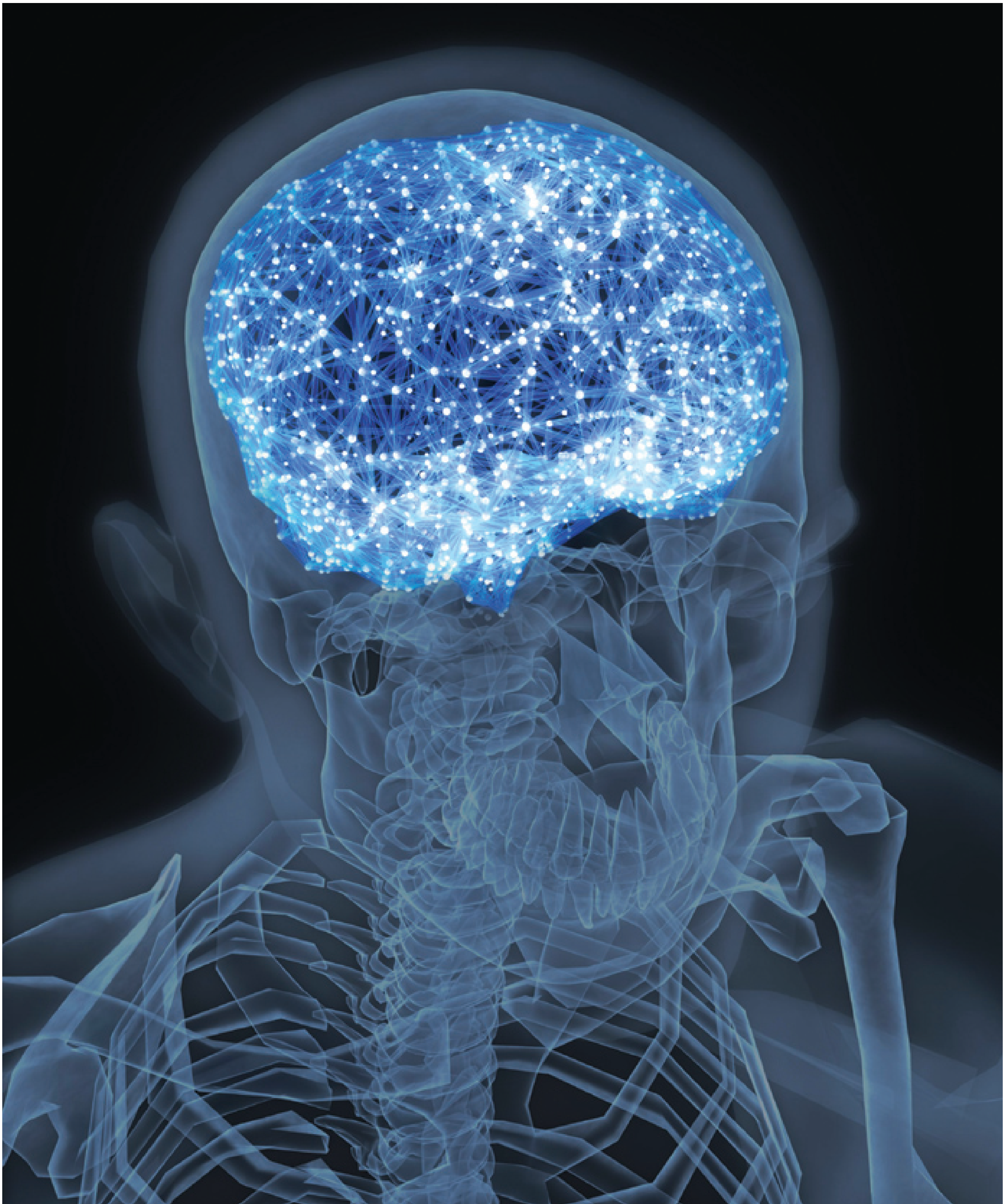
قـــد يقدمُ فهمُ عمل شـــبكات الدمـــاغ المعقّـــدة مفاتيحَ تعرف الأســـباب الكامنـــة وراء الحـــالات المرضية المدمّـــرة، بما في ذلك الفصام والخرف.



المؤلف

Carl Zimmer

<زيمر> مؤلف لتسعة كتب، ومحرر مشارك في جريدة نيويورك تايمز ومجلتي ناشيونال جيوگرافيك وديسكاڤر. وهو أيضا مؤلف الكتاب الإلكتروني الجديد «مقاطع الدماغ: خمس عشرة رحلة في رحاب العقل» *Brain Cuttings: Fifteen Journeys Through the Mind (Scott & Nix)* وقد نشرت مقتطفات من أحد فصوله على الموقع: *www.ScientificAmerican.com/e-zimmer*



ولحسن الحظ، يمكن أن يستلهم علماء الجهاز العصبي من الباحثين الآخرين الذين يدرسون منذ عدة عقود مختلف أشكال الظواهر المعقدة؛ من أسواق الأسهم إلى دارات الحاسوب إلى تآثر الجينات والبروتينات في خلية واحدة. قد يبدو أنه ليس هناك كثير من الأمور المشتركة بين الخلية وأسواق الأسهم، ولكن الباحثين وجدوا بعض أوجه التشابه بين جميع النظم المعقّدة التي قاموا بدراستها. كما طوّروا أيضا أدوات رياضياتية يمكن استخدامها لتحليل تلك النظم. وقد التقط علماء الجهاز العصبي تلك الأدوات وبدؤوا باستعمالها لفهم تعقيدات الدماغ. ومع أن الوقت لا يزال مبكرا، إلا أنّ النتائج التي سُجلت حتى الآن هي نتائج واعدة، فها هم العلماء يكتشفون قواعد انتظام بلايين النورونات في وحدات تعملُ سوية كشبكة واحدة متماسكة ندعوها الدماغ. وقد وجدوا أنّ نَظْم هذه الشبكة هو أساس قدرتنا على فهم عالمنا المتغيّر باستمرار. ولعل بعض الاضطرابات العقلية الأكثر تدميرا، كالفصام والخرف، تنجم جزئيا عن انهيار في شبكات الدماغ.

تآثر بضعة نورونات فقط يكون حشدا كبيرا من الاستجابات الارتدادية. أما جوهر النظام المعقّد فيتجلى عبر خليط من بلايين الخلايا الدماغية.

تتشكل الشبكات العصبية من النورونات ووصلاتها بالنورونات الأخرى عبر استطالة **محاويرها** axons. وتسمح هذه الوصلات للإشارات التي تعبر إحدى الخلايا العصبية (النورونات) بتحريض موجة كهربية في النورونات الأخرى. ولأن كلّ نورون يمكن أن يتصل بآلاف الخلايا الأخرى – القريبة منه أو الواقعة على الجانب الآخر من الدماغ – فإن الشبكات يمكن أن تتخذ عددا خياليا من التدابير. والطريقة التي تستخدمها شبكة معينة في دماغك بتنظيم نفسها تؤثر كثيرا في طريقة عملها.

بناء مُصغّر للدماغ[*]

ولكن كيف يمكننا دراسة شبكة الدماغ النورونية؟ ما التجربة التي يمكن للعلماء القيام بها لتتبّع بلايين الوصلات الشبكية؟ إحدى الإجابات عن هذين السؤالين هي أن نقوم بتشكيل نموذج مصغّر للدماغ يمكن أن يُظهر ما يحدث عندما تتآثر النورونات بطرق مختلفة. قام <O. سپورنز> وزملاؤه [من جامعة إنديانا] ببناء مثل هذا النموذج، فقد ابتكروا 1600 نورون مصطنع تم ترتيبها حول سطح كروي؛ ثمّ وصلوا كلّ نورون بالنورونات الأخرى. وكان كلّ نورون في أيّة لحظة لا يمتلك سوى فرصة صغيرة جدا لإطلاق موجاته الكهربية بصورة تلقائية، وعندما يطلقها فإن فرصتها في استثارة النورونات الأخرى المرتبطة به هي فرصة ضعيفة، وفرصة هذه النورونات في إطلاق موجاتها الكهربية هي بدورها فرصة ضئيلة.

قام <سپورنز> وزملاؤه بإجراء تعديل على الوصلات النورونية ثم راقبوا **مصغرهم الدماغي**[1] أثناء عمله. فبعد أن جرى في المرحلة الأولى وصل كلّ نورون بالنورونات المجاورة فقط، قام مصغر الدماغ عبر هذه الشبكة بإطلاق ومضات صغيرة عشوائية. وعندما كان النورون الواحد يطلق موجة كهربية بصورة تلقائية، كانت هذه الموجة لا تستطيع الانتقال بعيدا. أما في المرحلة الثانية فقد قام <سپورنز> وفريقه بربط كلّ نورون بجميع النورونات الأخرى في كامل الدماغ، وقد أدى ذلك إلى توليد نمط نشاط مختلف جدا، حيث أخذ الدماغ عندئذ يعمل ويتوقف عن العمل بكامله بنبضات منتظمة.

في المرحلة الثالثة والأخيرة، أضاف العلماء شبكة متوسّطة إلى مصغر الدماغ، وكوَّنوا بذلك وصلات محليّة وأخرى بعيدة المدى بين النورونات، فصار الدماغ الآن معقدا. وعندما بدأت النورونات بإطلاق موجاتها الكهربية ظهر عدد كبير من بقع النشاط المتوهّجة التي أخذت تطوف في الدماغ كالدوامة، حيث كان بعضها يصطدم بالآخر، وبعضها الآخر يسير مسرعا بحركة دورانية.

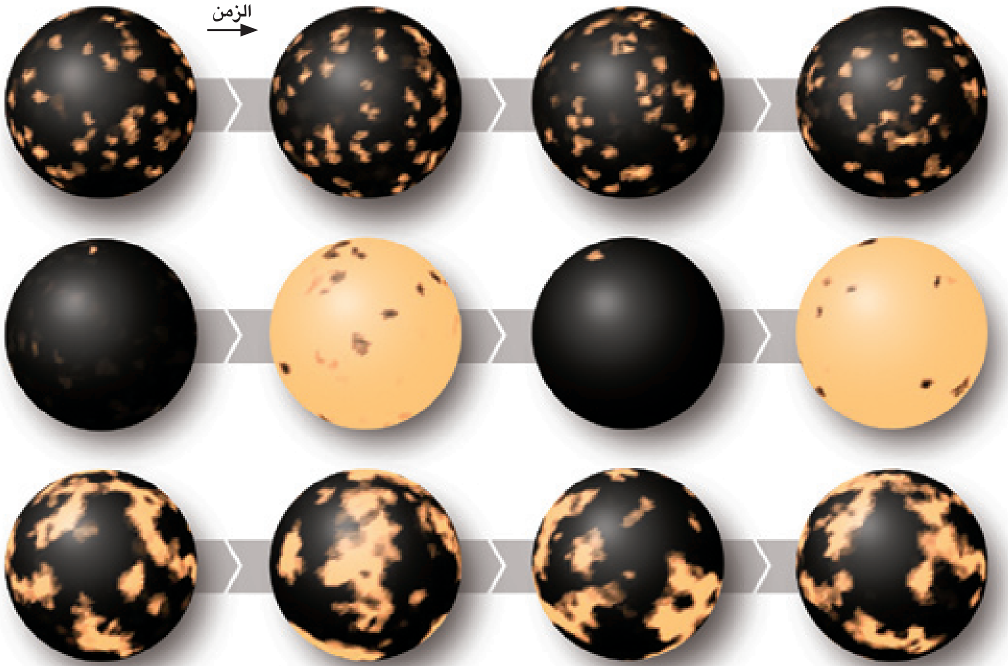
يقدّمُ مصغر الدماغ لِـ<سپورنز> درسا مهما عن نشوء النظم المعقدة؛ فهندسة بناء الشبكة ذاتها تحدد نمط نشاطها. ويقوم <سپورنز> وباحثون آخرون باستخلاص الدروس وجمعها من نماذج مصغر الدماغ ويبحثون عن أنماط مماثلة في الأدمغة الحقيقية في رؤوسنا. ولكن العلماء، ولسوء الحظ، لا يستطيعون مراقبة كلّ نورون على حدة في الدماغ الحقيقي. ولذلك، فَهُم يستخدمون تقنيات ذكية لتسجيل النشاط الناشئ عن عدد قليل نسبيا من النورونات، ثم يستخلصون بعض العبر المهمة من نتائج تجاربهم.

(*) BUILDING A TOY BRAIN
(١) toy brain

تبسيط التعقيد

تشريح مصغر الدماغ(*)

تشير محاكاة الدماغ التي أبدعها <O. سپورنز> وزملاؤه [من جامعة إنديانا] إلى وجود ثلاثة أنماط مختلفة من الوصلات بين النورونات الافتراضية الموزعة على سطح كرة وعددها 1600. وهذه المحاكاة - التي ينشط فيها بعض النورونات تلقائيا (المناطق الصفراء) ويبقى ما سواها هاجعا - تساعد الباحثين على تعرف آلية التآثرات المعقّدة بين الأنواع المختلفة من الشبكات، وهي التآثرات التي يشكل بعض منها نسخة طبق الأصل عن النشاط الذي يحدث في أرجاء الدارات الدماغية الحقيقية كافة.



يبين نموذج ارتباط النورونات بمجاوراتها المباشرة فقط ومضات نشاط عشوائية متفرقة بمرور الوقت.

عندما يكون النورون الواحد مرتبطا بجميع النورونات الأخرى، فإن الدماغ يُولِّد أنماط نشاط واسعة النطاق تبقى فيه مجموعة الخلايا ناشطة بالكامل أو خامدة كليًا تقريبا.

يولد مزيجُ الارتباطات القصيرة المدى والبعيدة المدى نمط نشاط معتدل يصعب التنبؤ به، ويشبه نمط نشاط الأدمغة الحقيقية.

أدمغة في طبق(**)

يقوم <D. بلينز> [وهو **عالم من علماء الجهاز العصبي**(1) العاملين في المعهد الوطني للصحة العقلية] ومساعدوه بتقصّي هندسة بناء الدماغ من خلال زرع قِطع من النسيج الدماغي بحجم بذور السمسم في أطباق پتري. يقوم هؤلاء بتثبيت 64 مسرى كهربيا داخل النسيج لتسجيل إطلاق الخلايا العصبية لإشعاراتها التلقائية، فهذه المساري تكتشف ما يسمى **تقطع إطلاق الموجات الكهربية السريع** rapid-fire staccato of activity والمعروف أيضا باسم **الانهيارات النورونية** neuronal avalanches.

في بداية الأمر، تبدو المسألة وكأن النورونات تطلق فرقعة لا تمثل سوى صخب عشوائي. فإذا كان هذا صحيحا فلن يكون هناك فرق بين أن يكون الانهيار النوروني محدودا جدا، أو أن يكون واسع الانتشار. بيد أنّ ما وجده <بلينز> وزملاؤه لم يكن متوافقا مع ذلك؛ فقد كانت الانهيارات الصغيرة هي الأكثر شيوعا والكبيرة هي النادرة والانهيارات الأكبر أكثر ندرة. وقد أظهر المخطط البياني احتمالات كل مقدار من مقادير الانهيارات على شكل منحنى انسيابي هابط.

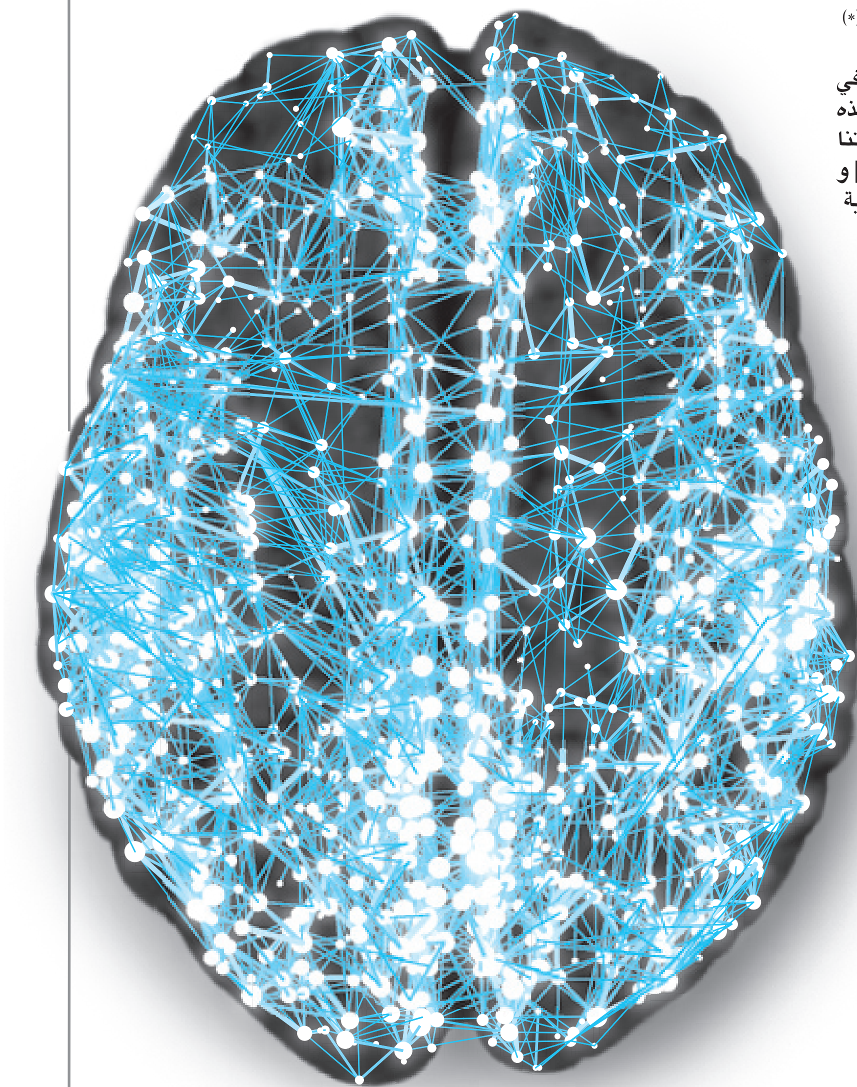
لقد رأى العلماء هذا الشكل من المنحنيات قبل ذلك، فدقات القلب، على سبيل المثال، ليست جميعها متشابهة؛ فمعظم هذه الدقات تقصر مدتها أو تطول قليلا مقارنة بالمعدل الوسطي، وعدد قليل منها فقط تقصر مدته أو تطول كثيرا عن هذا المعدل الوسطي. أما دقات القلب الأبعد كثيرا عن المتوسط فعددها أصغر بكثير. كما أنّ الزلازل تتبع النمط ذاته، فالانزياح في طبقات الأرض يسبب عددا كبيرا من الزلازل الصغيرة وعددا محدودا من الزلازل الكبيرة. وكذلك الحال أثناء الأوبئة، ففي كل يوم يظهر عدد من الحالات الجديدة عادة، ومن وقت إلى آخر تظهر موجات منها. وإذا قمنا برسم مخطط بياني لدقات القلب أو الزلازل أو لأعداد الحالات الجديدة في الأوبئة، فإننا سنشاهد منحنى أُسّيا هابطا.

هذا المنحنى، والمعروف بقانون القدرة، هو علامةٌ فارقة للشبكة المعقدة التي تشمل الوصلات القصيرة المسافة

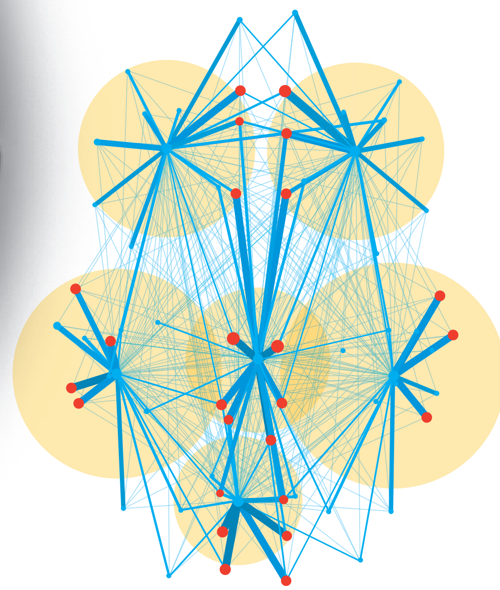
(*) Anatomy of a Toy Brain
(**) BRAIN IN A DISH
(1) a neuroscientist

عوالم صغيرة من شبكات كبيرة(*)

تنتشر موجات النشاط الكهربي في الدماغ، حتى ولو كان في حالة الراحة. يحاول عدد من الدراسات اليوم رسم خارطة لهذه الأنماط العصبية نظرا لأنها قد تؤدي دورا حاسما في حياتنا العقلية. وقد قام ‹P. هاكمان› [من جامعة لوزان في سويسرا] و ‹O. سپورنز› [من جامعة إنديانا] برسم مخطط للدماغ بتقنية «تصوير طيف الانتشار»(1)، ووجدوا أنّ الشبكة ذات الوصلات الكثيفة (*في اليسار*) تمتلك عُقدا جيدة الترابط (النقاط الحمرء) تمر عبرها روابط عديدة (في الأسفل). وقد تساعد شبكات «العالم الصغير» من العقد أدمغتنا على معالجة المعلومات بسرعة أكبر وتسمح لها بأن تصون تماسكها البنيوي بكفاءة.



شبكة كبيرة



شبكة عالم صغير

والبعيدة المسافة على حد سواء. قد ينتشر الاهتزاز الصادر عن بقعة معينة من الأرض، في بعض الحالات، إلى منطقة مجاورة محدودة فقط، ولكنه قد ينتشر إلى مناطق أوسع بكثير في حالات أخرى نادرة. والنورونات تعمل بالطريقة ذاتها، فتستثير أحيانا ما يجاورها من نورونات فقط، لكنها في أحيان أخرى يمكن أن تطلق موجة نشاط واسعة الانتشار.

يمكن للعلماء أن يستخلصوا من شكل منحنى قانون القدرة دلائل مهمة بشأن الشبكة التي تولّده. وقد اختبر ‹بلينز› ومساعدوه عددا من الشبكات النورونية المحتملة لتحديد تلك التي تولّد انهيارات نورونية بالطريقة ذاتها التي تعمل وفقها النورونات الحقيقية، وقد حصلوا على أفضل مقاربة من شبكة تتكون من 60 عنقودا من النورونات. وكانت هذه العناقيد موصولة وسطيا بعشرة عناقيد أخرى، ولم تكن هذه الوصلات موزعة بصورة عشوائية بين العناقيد، بل بطريقة كان فيها بعض العناقيد فقط يتمتع بعدد كبير من الوصلات، في حين أن غالبية العناقيد لم يكن لديها سوى عدد قليل من الوصلات. وقد ترتب على ذلك نتيجة مفادها بأن عدد الوصلات التي تربط العنقود الواحد بالآخر كان قليلا جدا. ويدعو العلماء هذا النوع من الترتيب باسم **شبكة عالم صغير** small-world network.

لقد صار واضحا أنّ هذا النوع من الشبكات من شأنه أن يمنح أدمغتنا حساسية مرهفة حيال الإشارات الواردة إليها،

(*) Small Worlds from Large Networks
(1) diffusion tensor imaging

وذلك على نحو يشبه قدرة المايكرفون على تقوية مجال واسع من الأصوات. وقد قام «بلينز» وفريقه بتعريض النورونات لصدمات كهربية مختلفة الشدة ثم قاموا بقياس استجاباتها، فوجدوا أنّ الصدمات الضعيفة تولّد استجابات عند عدد محدود من النورونات فقط، في حين أن الصدمات القوية تستثير استجابة قوية لدى عدد أكبر بكثير من النورونات.

ولمعرفة الكيفية التي تؤثر بها بنية الشبكة في هذه الاستجابة، أضاف «بلينز» وزملاؤه إلى النورونات مادة دوائية تُضعف عمل الوصلات النورونية، فلاحظوا أن الخلايا العصبية تتوقف عندئذ عن الاستجابة للإشارات الضعيفة. ولكن هؤلاء العلماء حصلوا على نتيجة مُغايرة تماما عندما حقنوا النورونات بمادة دوائية ترفع قابلية استثارتها واستجابتها للإشارات الواردة من المنطقة المجاورة، حيث استجابت هذه النورونات بصورة قوية وكثيفة للإشارات الضعيفة – ولم تختلف استجابتها هذه من حيث القوة والكثافة عن استجابتها للإشارات القوية. لقد أظهرت هذه التجارب أن الشبكات النورونية تضبط عملها بدقة عالية، وأن هذه الدرجة العالية من الضبط (الدوزنة) هي التي تتيح لها إطلاق إشاراتها بانضباط كبير. أما إذا تم ترتيب النورونات في شبكة مختلفة، فإن استجاباتها سوف تكون غير مترابطة ولا معنى لها.

يمكن للنموذج الرياضياتي الذي يحاكي التآثرات الكامنة للبيع والشراء في سوق الأسهم، أن يكون صالحا أيضا للشبكات المسؤولة عن نشاط الدماغ.

يأمل علماء الجهاز العصبي بأن يتوصلوا في نهاية المطاف إلى إيجاد رابط بين ما نراقبه من نشاط في **طبق المختبر**[1]، وما يحدث من عمليات عقلية في الحياة اليومية. فمن خلال رصد الدماغ بكامله، يقوم الباحثون التجريبيون باكتشاف أنماط من النشاط التلقائي تشبه النوع الذي اكتشفه «بلينز» في قطعه الصغيرة من نسيج الدماغ. لقد وجد «E. M. ريكلي» ومساعدوه [من جامعة واشنطن في سانت لويس] أنّ بعض النماذج المعقدة من الموجات الكهربائية يمكن أن تنتقل عبر الدماغ بكامله في حال توقف الإنسان عن التفكير في أي شيء كان. كما تشير التجارب الحديثة إلى أنّ هذا النشاط العفوي يمكن أن يكون له دور حيوي في حياتنا العقلية من حيث إنه قد يسمح للعقل أثناء استراحته بالتأمل في نظام عمله الداخلي من خلال مراجعة الذكريات وإعداد خطط للمستقبل.

رُسّام الخرائط النورونية(*)

من أجل فهم سلوك هذه الموجات، يسعى علماء الجهاز العصبي إلى وضع خرائط للوصلات النورونية في كامل الدماغ. وغني عن القول أن هذه المهمة صعبة للغاية، وأفضل دليل على ذلك هو التحدي الكبير الذي يواجهه علماء مثل «بلينز» في محاولتهم فهمَ ماذا يجري في قطعة صغيرة جدا من النسيج الدماغي. يُدير «سپورنز» أحد أكثر مشاريع رسم الخرائط النورونية طموحا. وبانضمامه إلى «P. هاگمان» [من جامعة لوزان في سويسرا] وفريقه المتخصص في التصوير العصبي، قام بتحليل بيانات حصل عليها من أدمغة خمسة متطوعين، وذلك باستخدام طريقة تُعرف باسم «**تصوير طيف الانتشار** (DSI)[2]»، وهي طريقة يتم فيها، وبتبسيط شديد، التقاط صور **للمحاوير** axons المُغطّاة بطبقة رقيقة من الشحم، وهي الألياف الطويلة المعروفة باسم المادة البيضاء التي تربط المناطق المختلفة من القشرة الدماغية فيما بينها. اختار العلماء نحو 1000 منطقة من القشرة ورسموا خريطة للمادة البيضاء التي تربط كل منطقة منها بباقي المناطق الأخرى.

لقد ابتكر العلماء نسخة محاكاة لهذه المناطق الألف، وأجروا تجارب عليها لمعرفة طبيعة أنماط النشاط التي تولّدها. وقد أظهرت هذه التجارب أن كلّ منطقة من هذه المناطق تُصدر إشارات قادرة على الانتقال إلى المناطق المرتبطة بها وتحريض النورونات هناك على بث إشارات مماثلة أيضا. وعندما شغّل العلماء هذا الدماغ الافتراضي، بدأ بإصدار موجات نشاط بطيئة الانتقال. والمدهش أن هذه الموجات كانت تشبه الموجات التي تم رصدها في الأدمغة الحقيقية في حالة الراحة، والتي رآها «ريكلي» وآخرون.

إنّ نظام الشبكة الدماغية التي رسم خارطتها «سپورنز» وزملاؤه يشبه إلى حد كبير نظام تلك الشبكة الأصغر التي وجدها «بلينز» في قطعه النسيجية الصغيرة التي تضم عددا قليلا من العقد المترابطة جيدا بعضها ببعض – وهي ما يسمى «شبكة العالم الصغير»، كما ذكرنا سابقا. وتجدر الإشارة إلى أن الهندسة البنيوية الواسعة النطاق من شأنها أن تساعد أدمغتنا على الحفاظ على مواردها وعلى العمل بطريقة أسرع. إن إنماء المادة البيضاء وصيانتها يكلفاننا الكثير من الموارد. أما إذا توفر لأدمغتنا عدد قليل من العُقد

(*) NEURAL CARTOGRAPHERS
(١) طبق بتري.
(٢) diffusion tensor imaging

المترابطــة جيدا فيما بينها، فإن أدمغتنا ســوف تكتفي بكمية أقــل بكثير من المادة البيضاء التــي تتطلبها الأنواع الأخرى من الشــبكات. ولأن المعلومات في هذه الحالة تعبر عددا أقل مــن الوصلات في رحلتها من أحد أجزاء الدماغ إلى أجزائه الأخرى، فإن معالجة هذه المعلومات تتم بصورة أسرع.

سيصبح علماء الجهاز العصبي قادرين على رسم خرائط أفضل بكثير لشــبكات الدماغ في الســنوات القادمة، ويعود الفضــل في ذلك إلى مشــروع الثلاثين مليونــا الذي أطلقه المعهــد الوطني للصحــة العقلية عام 2010، وهو المشــروع المعروف **بمشروع مجموع وصلات الدماغ البشري** Human Connectome Project، الــذي ســيقوم بمســح كلّ وصلة بين النورونات في دماغ البالغ. ولكن حتى هذه الخارطة ســوف لــن تتمكن، بمفردها، من الإمســاك بكافــة جوانب تعقيدات الدمــاغ، وذلك لأن النورونات لا تســتخدم في تواصلها معا سوى جزء يسير فقط من الوصلات الدماغية المتاحة. وأيضا لأن هذه الشــبكة يمكن أن تغيّر شــكلها مــن وقت إلى آخر من خلال عزوف النورونات عن بعض وصلاتها والاستعاضة عنهــا بوصلات جديــدة. إن خلق نماذج للدمــاغ قادرة على التقاط هذه الشبكات الديناميكية يتطلب جميع ما يمتلكه عالم التجارة من حيل وبراعة توفرها له نظرية النظم المعقدة.

نورون سوق الأسهم (وول ستريت)(*)

يحاول عالمان في الرياضيــات [من معهد دارتموث] هما ‹N. D. روكمــور› و ‹D. S. پولس› تحليل هذا التعقيد من خلال التعامل مع الدماغ كما نتعامل مع ســوق الأسهم؛ فكلاهما، أي الدماغ وسوق الأسهم، يتألفان من عدد كبير من الوحدات الصغيرة – أي تُجّار الأســهم والنورونات – التي تنتظم في شــبكة واسعة المجال. فكل تاجر يســتطيع أن يؤثر في باقي التجّار في عملية البيع والشــراء، وقد يشتد هذا التأثير إلى حد يشمل الشبكة بكاملها مؤديا إلى هبوط أو ارتفاع الأسعار بمجملها في ســوق الأسهم. وعليه، فإن الشــبكة الإجمالية بدورها تســتطيع أن تؤثر في الحدود الدنيا للأسعار. فعلى ســبيل المثال عندما تبدأ سوق الأســهم بالارتفاع من جديد، فإن تَوْقَ بعض التجار إلى الشراء مجددا يؤدي إلى مزيد من الارتفاع في سوق الأسهم.

قام ‹روكمور› و ‹پولس› مــع زملائهما بتطوير مجموعة من الأدوات الرياضياتية من أجل الكشــف عن بنية الشــبكة التي تتكون منها ســوق نيويورك للأوراق المالية، حيث قاموا بتحميل أســعار الإغلاق اليومية لـ 2547 سهما من صفحات الإنترنت على مدى 1251 يوما، وبحثوا عن أوجه التشــابه في تغير أسعار الأسهم العادية المختلفة: قابلية ارتفاع وانخفاض الأسعار في زمن متقارب، على سبيل المثال.

كشــفت هذه الدراســة عن وجود 49 عنقودا من الأسهم العاديــة، وعندما راجــع العلماء معلوماتهــم المالية، وجدوا أنّ هــذه العناقيــد تتوافق في معظم الأحيــان إما مع بعض القطاعات الاقتصادية المعيّنة كبرامج الحاسوب (**البرمجيات** software) أو المطاعــم مثلا، أو مــع مناطق جغرافية محددة، كأمريكا اللاتينية أو الهند.

وإذ توصــل العلماء إلى تحديد الفئات المذكورة من خلال تحليل البيانات وحده، فقد أخذوا يشــعرون بشيء من الثقة بطرائقهم البحثية. إن ميل أســعار أســهم شــركات التزويد بخدمات الإنترنت إلى التقلب بطريقة عشوائية هو أمر منطقي في آخر المطاف إذا أخذنا في الحسبان، مثلا، الخطر الناجم عــن دودة الإنترنت والمشــكلات التي يمكــن أن تتعرض لها مجموعة هذه الشركات بكاملها من جراء ذلك.

وجد ‹روكمور› و ‹پولس› أيضا أنّ العناقيد الـ49 المذكورة كانت تنتظم في حقيقة الأمر في سبعة عناقيد كبرى، وأن هذه العناقيــد الكبرى كانت في العديد مــن الحالات، تتوافق مع قطاعات صناعية يعتمد بعضها على بعض، فمراكز التسوّق وأعمــال البنــاء، مثلا، يســيران جنبا إلى جنــب. كما وجد الباحثان أيضا أنّ هــذه العناقيد الكبرى تتداخل فيما بينها لتشكل أنشوطة عملاقة يُرجح أنّها تنبثق عن ممارسة شائعة بين مديري الاســتثمار تُدعى **دوران القطاع** sector rotation، فهــؤلاء المديرون يقومون وعلى مدى عدّة ســنوات، بتحريك أموالهم من قطاع إلى قطاع آخر في عالم الاقتصاد.

يســتخدم ‹روكمور› و ‹پولس› الآن الطرائق الرياضياتية ذاتهــا لبناء نموذج للدماغ. ولكن بدلا من البحث عن المعلومات المالية المنتقلة من جزء إلى آخر من الســوق، فهما يقومان هنا باســتقصاء المعلومــات التي تنتقل من منطقــة إلى أخرى في الدماغ. وكما هي الحال في الشبكات المتقلّبة لأسواق المال، فإن الدماغ لا ينفك عن إعادة تنظيم شبكته بين اللحظة والأخرى.

ولاختبــار نموذجهما، قــام ‹روكمــور› و ‹پولس› مؤخرا بتحليــل صور **الرّنين المغنطيســي الوظيفــي** (fMRI)(1) التي حصــل عليها فريــق ‹ريكلي› من دماغ الأشــخاص في حالة الراحة، وراقبا ارتفاع النشاط وهبوطه ضمن **الڤوكسل** voxel الواحــد؛ وهو قطعة من الدماغ بحجم ذرة الفلفل وتمثل أصغر حجم يمكن أن يقيسه الرّنين fMRI. ومن ثمّ بَحَثَا عن العلاقات

THE WALL STREET NEURON (*)

functional MRI (1)

الوثيقة بين أنماط النشـــاط. وكما وجد هـــذان العالمان عناقيد الأسهم في الأسواق المالية، فقد اكتشفا أن القوكسلات يمكن تجميعها في 23 عنقودا، وتجميع هذه الأخيرة بدورها في أربعة عناقيد كبرى. وما يثير الدهشـــة في هذا الســـياق هو أنّ هذه العناقيد الأربعة الكبرى لم تكن سوى نسخة عصبية تعمل وفق مبدأ دوران القطاع الذي اكتشفه ‹روكمور› و ‹پولس› ووجده في مجال سوق الأسهم: لقد كانت كلها تجتمع ضمن أنشوطة واحدة تتحرك داخلها موجات النشاط في مسار دائري.

والآن، وبعد أن نجح ‹روكمور› و ‹پولس› في بناء شـــبكة للدماغ المســـتريح، قررا توجيه اهتمامهما إلى الدماغ المفكر. ولفهـــم الآليـــات التي يســـتخدمها الدماغ فـــي تغيير نظامه الداخلي، يقوم كل منهما الآن بتحليل بيانات التصوير بالرنين fMRI الخاصة بمجموعة من الأشخاص الذين تبين أن لديهم سلسلة من البيانات. وإذا نجح نموذجهما فقد يغدو ‹روكمور› و ‹پولس› قادرَين على التنبـــؤ بطبيعة النتائج التي يمكن أن يحصل عليها عالم الجهاز العصبي من الفحص الذي يجريه بواسطة الرنين fMRI على أحد الأشخاص الذي يشاهد نوعا معيّنا من المنبهات البصرية، كوجه صديق قديم مثلا. ولاشك في أن مثل هذا الإنجاز ســـوف يدفع العلوم العصبية باتجاه يمكن أن تتحول من خلاله إلى علم تنبُّئيّ بالفعل.

لن تســـمح مثل هذه الدراســـات للعلماء بفك جميع طلاسم الطبيعة المعقدة لدماغ الإنســـان خلال وقـــت قصير. وفي هذا الصدد تقدم لنا **الدودة المدورة الأنيقة** the nematode worm *C. elegans* حكاية تحذيرية، فقبل أكثر من 20 ســـنة أنهى الباحثون عملية وضع خارطة لجميع الوصلات بين نوروناتها البالغ عددها 302، ومع ذلك فإنهم ما زالوا يجهلون الكيفية التي يتشـــكل بها جهاز عصبي قادر على تأدية وظائفه من هذه الشبكة البسيطة.

شبكة طب الجهاز العصبي(*)

عســـى أن يستخلص العلماء بعض الدروس العملية المهمة قبل أن ينجزوا مهمتهم في رسم مخطط كامل لشبكات الدماغ الســـلكية. يشير عددٌ من الدراسات إلى أنّ بعض اضطرابات الدماغ المَرضيّة ربما لا تنشـــأ عن اضطـــراب وظيفي في أيّ جزء معيّن من الدماغ، بل عن انحراف في الشبكة ذاتها. وقد تســـاءل ‹ســـپورنز› وزملاؤه في هذا الصدد عن التغير الذي يمكن أن يطرأ على «شـــبكة العالم الصغير» التي اكتشـــفوها إذا أوقفوا عددا من عقدهـــا المختلفة عن العمل. فإذا أوقفوا، مثلا، إحدى مناطق الدماغ التي ليس لها سوى بضع وصلات بالنورونات المجاورة، فإن الشـــبكة بمجملها ستستمر بالعمل بطريقة تشـــبه من حيث الكثافة ما كانت عليه قبل ذلك. أما إذا أوقفوا عقدة واحدة فقط فإن أنماط نشاط الشبكة كلها ستتغير بصـــورة جذرية، وهذا ما يفســـر بالطبع ما تُحدثه أذيةٌ ما في الدماغ من تغير مُحيّر ولا يمكن التنبؤ به. فالســـكتة الدماغية أو الورم يمكن أن يســـبّب أذية مدمّرة أحيانا من خلال إصابة رقعـــة بالغة الصغر مـــن النورونات. وبالمقابـــل، هناك حالات يُصـــاب فيها عدد كبير من الأماكن العصبية من دون أن ينجم عن ذلك أيّ تغيير ملحوظ على طريقة عمل الدماغ.

هناك عدد من أمراض الدماغ التي قد يتبين أن سببها يعود إلى اضطرابات في الشبكة ذاتها. وحاليا يستقصي ‹Ed. بالمور› [عالم الجهاز العصبي من جامعة كامبردج] وزملاؤه هل هناك علاقة بين شـــبكات الدمـــاغ والفصام. وقد قام هـــذا الفريق البحثي، في دراسة حديثة له، بفحص أربعين مصابا بالفصام وأربعين شـــخصا من الأصحاء بواســـطة التصويـــر بالرنين fMRI بوضعية الاستلقاء وحالة الاسترخاء التام وبقاء العينين مفتوحتين. ومن ثم قام ‹بالمور› وفريقه برســـم خارطة لشـــبكة المناطق التي بقيت نشـــطة في الأدمغـــة المرتاحة، حيث وجدوا أنّ مرضـــى الفصام يتميزون عـــن الأصحاء بأن بعض مناطق الشبكة في أدمغتهم المستريحة تعمل بتزامن أكبر.

إلاّ أن العلمـــاء لا يعرفون حتى الآن ما هي طبيعة العلاقة التي تربط الفصام بهذه التغيرات في شبكة الدماغ. وعلى أية حال، فإن هذا الفهم قد يساعدنا على أقل تقدير، على تطوير اختبارات حسّاســـة للفصام وربما لغيـــره من الاضطرابات، كالتوحّد واضطراب فرط النشـــاط مع نقص الانتباه ADHD، التي تشـــير الدلائل إلى أنها قد تكون هي أيضا من أمراض شبكات الدماغ. وعســـى أن يتمكن الأطباء أيضا من متابعة تحســـن حالات مرضاهم من خلال مراقبتهم لهم ولما يشـــير إلى استعادة شبكات أدمغة هؤلاء المرضى وظيفتها الطبيعية، الأمـــر الذي ســـيمثل تقدما لا يمكـــن إلاّ أن نحتفي به، حتى وإن كان علينا أن نســـتمر طويلا حتـــى يتمكن علماء الجهاز العصبي من فك جميع طلاسم الطبيعة المعقدة للدماغ. ■

(*) NETWORK NEUROLOGY

مراجع للاستزادة

Theoretical Neuroanatomy: Relating Anatomical and Functional Connectivity in Graphs and Cortical Connection Matrices. O. Sporns, G. Tononi and G. M. Edelman in *Cerebral Cortex,* Vol. 10, No. 2, pages 127–141; February 2000.

Mapping the Structural Core of Human Cerebral Cortex. Olaf Sporns et al. in *PLoS Biology,* Vol. 6, No. 7, e159; July 2008.

Efficient Network Reconstruction from Dynamical Cascades Identifies Small-World Topology of Neuronal Avalanches. Sinsia Pajevic and Dietmar Plenz in *PLoS Computational Biology,* Vol. 5, No. 1, e1000271; January 2009.

Networks of the Brain. Olaf Sporns. MIT Press, 2010.

Scientific American, January 2011

«عفريت مكسويل» من أجل تبريد الذرات إلى درجة حرارة قريبة من الصفر المطلق(*)

تجربةٌ ذهنيةٌ من القرن التاسع عشر تحولت إلى تقنية واقعية بغية الوصول إلى حرارة متناهية الانخفاض، ممهّدة الطريق لاكتشافات علمية جديدة ولتطبيقات مفيدة.

<M. G. ريزن>

خلال قراءتك لهذه الكلمات فإن جزيئات الهواء تئزّ حولك بسرعة تقارب 2000 ميل في الساعة، أي أسرع من انطلاق رصاصة، وتصطدمك من جميع الجوانب. ومع ذلك، تتدافع الذرات والجزيئات التي تكوّن جسمك، وتهتز ويصطدم بعضها بعضا؛ إذ لا يُوجد في الطبيعة سكون تام مطلق، وكلما سارت الأشياء أسرع كانت الطاقة التي تحملها أكبر؛ وندعو «**الطاقة الجمعية**»[1] للذرات والجزيئات **حرارة** heat، وهو ما نحسّ به.

ومع أن السكون التام، الذي يقابل حرارة صفر مطلق، مستحيل فيزيائيا، إلا أن العلماء يقتربون من تلك النهاية الحدّية. وتبدأ عند مثل هذه المجالات الحدية، الآثارُ الكمومية الغريبة بالظهور لتعطي حالات جديدة وغير عادية للمادة. وبشكل خاص، فإن تبريد **الغمامات الغازية الذرية**[2] - في مقابل المادة بحالتها السائلة أو الصلبة - إلى أجزاء من الدرجة فوق الصفر المطلق، يسمح للباحثين بمشاهدة السلوك الموجي للجسيمات المادية، مما مكّنهم من ابتكار أكثر أدوات القياس دقة في التاريخ، كما مكّنهم من بناء أكثر الساعات الذرية دقة.

إن معوقات تقنيات تبريد الذرات هذه، هي اقتصار تطبيقها على بضعة عناصر فقط في الجدول الدوري، مما يحدّ من فوائدها. وعلى سبيل المثال، شكّل تبريد الهدروجين، أبسط جميع الذرات، لمدة طويلة تحديا كبيرا. غير أن مجموعتي البحثية وجدت طريقة تبريد جديدة، يمكن أن نبرد بها غالبية العناصر، إضافة إلى أنواع عديدة من الجزيئات.

كانت مُلهمتي في هذا الشأن: تجربة ذهنية من العصر الفكتوري اقترحها <J. M. مكسويل>. إذ بيّن نظريا هذا الفيزيائي الاسكتلندي العظيم، أنه بالإمكان وجود **عفريت** demon يبدو وكأنه قادر على الإخلال بقواعد الترموديناميك.

هذه الإمكانية الجديدة ستفتح اتجاهات جديدة في الأبحاث الأساسية، وتقود إلى مجال واسع من الاستخدامات. فعلى سبيل المثال، قد يقود تطوير هذه التقنية، إلى عمليات تنقية **نظائر** isotopes نادرة لها استعمالات مهمة في الطب وفي الأبحاث الأساسية. وقد تقود تقنية أخرى ناشئة عن هذه التقنية، إلى زيادة دقة طرق التصنيع على المقياس النانوي، المستخدمة لتصنيع

(*) DEMONS, ENTROPY AND THE QUEST FOR ABSOLUTE ZERO؛ العنوان الأصلي: عفاريت وأنتروبية سعيا وراء الصفر المطلق.

(1) the collective energy

(2) gaseous clouds of atoms

باختصار

تعمل الطرائق التقليدية لتبريد الغازات إلى درجات قريبة من الصفر المطلق بشكل جيد في بضعة عناصر فقط.

وهناك تقنيتان مبتكرتان تعملان معا، لتبريد ذرات أي عنصر، وحتى تبريد بعض الجزيئات.

وتبدو إحدى هاتين التقنيتين وكأنها تخرق القانون الثاني في الترموديناميك، وهي تحقيق لتجربة ذهنية مشهورة منذ القرن التاسع عشر تدعى «عفريت مكسويل».

تتراوح تطبيقاتها من دراسة خواص **الجسيمات الأولية** elementary particles، من دون الحاجة إلى مسرعات مكلفة لفصل النظائر المستعملة في الطب والأبحاث العلمية الأخرى.





المؤلف

Mark G. Raizen

يشغل ‹ريزن› كرسي الفيزياء في مؤسسة أوصياء ‹S .W. ريتشاردسون› بجامعة تكساس في أوستن، ومنها حصل على الدكتوراه. تتضمن اهتماماته المصايد الضوئية والتشابكات الكمومية. وعندما كان فتىً قابل الفيزيائي ‹L. سيلارد›، الذي كان مريضا عند أبيه طبيب القلب، فشرح له لماذا لا يخرق «عفريت مكسويل» قوانين الترموديناميك.

الشيپات chips الحاسوبية. وعلى الجانب العلمي، قد يُمكّن تبريد الذرات والجزيئات الباحثين من استكشاف المنطقة الغامضة غير المتاحة والتي تقع بين **الفيزياء الكمومية**(١) والكيمياء العادية، أو الكشف عن اختلافات محتملة بين سلوك المادة و**المادة المضادة**(٢). وربما يساعد تبريد الهدروجين ونظائره، تبريدا فائقا، المختبرات الصغيرة على الإجابة عن أسئلة في الفيزياء الأساسية من النوع الذي تطلَّب تقليديا إجراء تجارب تطلبت تجهيزات ضخمة كتلك الموجودة في مسرعات الجسيمات.

رصاصات متسابقة(*)

إن إيقاف الذرات والجزيئات والتحكم فيها ليس بالأمر السهل. ففي تجربة نموذجية، يبدأ الباحثون بتحضير غازات مخلخلة لعنصر كيميائي معين، وذلك بتسخين مادة صلبة أو بتبخيرها بليزر. بعدئذ يجب إبطاء الغاز، وحصره في **حجرة مُخلّاة**(٣)، وإبقاؤه بعيدا عن جدران هذه الحجرة.

لقد بدأت باتباع حيلة معروفة منذ زمن بعيد. فقد وجد الكيميائيون قبل أكثر من أربعين عاما أنه إذا طُبِّق على غاز ما ضغط من مرتبة عدة ضغوط جوية، وترك لينفذ عبر فتحة صغيرة نحو الخلاء، فإنه سيبرد بشدة مع تمدده. وما يثير الانتباه أن هذه «الحُزَم ذات السُّرع فوق الصوتية» **وحيدة الطاقة**(٤) تقريبا، مما يعني أن سُرع جميع الجزيئات ستكون قريبة جدا من المتوسط، فعلى سبيل المثال، إذا انطلقت حزمة بسرعة 2000 ميل

(*) Racing Bullets
(١) quantum physics
(٢) antimatter
(٣) vacuum chamber
(٤) monoenergetic

في الساعة، فإن سرعة أي من جزيئاتها لن تنحرف عن هذه السرعة بأكثر من 20 ميلا في الساعة. وللمقارنة فإن جزيئات الهواء عند درجة حرارة الغرفة، تتحرك بسرعة متوسطة تقارب 2000 ميل في الساعة، وستتراوح سُرَع جزيئاته في الحالة العادية في مجال بين الصفر و 4000 ميل في الساعة. وما يُعنيه ذلك من وجهة نظر ترموديناميكية، هو أن الحزمة على الرغم من امتلاكها كمية كبيرة من الطاقة، إلا أنها باردة جدا. ولننظر إليها بهذه الطريقة: إذا تحرك **مراقب** observer مع الحزمة بسرعة 2000 ميل في الساعة، فإنه سيرى الجزيئات تتحرك ببطء شديد، ومن ثمّ ستكون درجة حرارة الحزمة قرابة جزء في المئة من الدرجة فوق الصفر المطلق!

وقد تبيّن لي أنه إذا استطعت وزملائي إبطاء هذه الحزمة وإيقافها، مع الحفاظ على الانتشار الضئيل للسرع حول المتوسط، فإننا سنحصل على حزمة من الذرات الباردة جدا، ومن ثم نستطيع اصطيادها وتبريدها أكثر.

لتحقيق ذلك الهدف بدأ فريقنا في عام 2004 العمل مع **حزم فوق صوتية**[1]، بمشاركة <U. إيڤن> [كيميائي بجامعة تل أبيب]. وكانت محاولتنا الأولى بناء **دوّار** rotor بشفرات تتحرك نهاياتها بسرعة تساوي نصف سرعة الحزمة فوق الصوتية. بعد ذلك وجّهنا نبضات من الحزمة باتجاه شفرات الدوار **المرتدة** receding بحيث تحذف سرعة الشفرات سرعة الحزمة تماما. وعندما ترتدّ ذرات الغاز بعيدا عن الدوار، فإنه يأخذ طاقاتها الحركية جميعها، تماما كما يوقف الكرة مضربُ تنس مرتد.

غير أنه بتلك التركيبة، يصعب العمل بصورة جيدة، لأنها تحتاج إلى عملية ضبط دقيقة جدا. وقد اقترح <R. هيبنر> [مدير مركز **الميكانيك الكهربائي** Electromechanics بجامعة تكساس في أوستن] تصميما مغايرا: وهو رَدُّ الغاز بعيدا عن ظهر قذيفة وهي تنطلق عبر **مدفع وشائعي**[2] coilgun، وهذا المدفع هو سلاح تجريبي يدفع القذائف المغنطة عبر أسطوانته، بتأثير حقول مغنطيسية وليس بسبب انفجار مسحوق البارود. ويعمل عن طريق تسريع الرصاصة عبر سلسلة **وشائع (ملفات)**[3] coils سلكية لولبية تمر بها تيارات كهربائية مولّدة حقولا مغنطيسية. وتنجذب الرصاصة، التي هي بالأساس **مغنطيس** bar magnet، نحو مركز **الوشيعة** coil الذي تجتازه. ومن ثَمّ تتسارع رصاصة مقتربة بفعل قوى الجذب. ومن ناحية أخرى، فبمجرد عبور الرصاصة المركز، تبدأ القوى بسحبها إلى الخلف، ومن ثمّ تباطؤها لتعود إلى سرعتها الأصلية. غير أن التيار في كل وشيعة، يقطع لحظة عبور القذيفة المركز تماما، بحيث تدفع القوى المغنطيسية القذيفة دائما في الاتجاه الصحيح عبر الأسطوانة.

لقد تبين لي بسرعة أنه يمكننا تطبيق فكرة <هيبنر>، ولكن مع التخلّص من الرصاصة كليا. وبدلا من ذلك يمكن استخدام المبدأ نفسه مطبقا على الحزمة نفسها، ولكن بشكل معاكس: فعوضا عن تسريع رصاصة، نَدَعُ وشائع المدفع، في هذه الحالة، تؤثر مباشرة في جزيئات الغاز، موقفة إياها [*انظر المؤطر في الصفحة المقابلة*]. إن هذه الحيلة ممكنة لأن لمعظم الذرات مقدارا، ولو قليلا، من المغنطيسية، وتمتلك جميعها مغنطيسية عندما تُستثار إلكتروناتها. هذا وإن الكثير من أنواع الجزيئات هو مغنطيسي أيضا.

لقد بنينا الجهاز الجديد واختبرناه أولا على ذرات النيون المثارة، ثم على جزيئات الأكسجين. ونجحنا في إيقاف نوعي الجسيمات كليهما. ومن دون علم منّا، طور فريق آخر يعمل بصورة مستقلة في زيوريخ بقيادة <F. ميركت>، الفكرة نفسها ونجح في إيقاف الهدروجين الذري، في وقت إجرائنا لتجاربنا تقريبا. وقد بَنَت فرق كثيرة حول العالم الآن **مدافعها الوشائعية الذرية**[4] وهي في النهاية أدوات بسيطة جدا ومتينة، تعتمد على أسلاك نحاسية عادية ومكثفات كهربائية وترانزيستورات متوافرة في الأسواق.

وبمجرد نجاحنا في إيقاف الذرات بهذه الطريقة، كان من السهل نسبيا **اصطيادها** trap بحقول مغنطيسية ساكنة. وقد كانت المشكلة الأصعب هي إيجاد طريقة لتبريدها إلى درجات أخفض من ذلك. ومع أن الدرجة 0.01 كلڤن (أي جزء من مئة من الدرجة فوق الصفر المطلق) تبدو **صقيعة** chilly، لكنها ما زالت بعيدة جدا عن الحدود التي توصلت إليها تقنيات أخرى. وعلينا إيجاد طريقة لتبريدها أكثر.

طرق ذات اتجاه واحد[*]

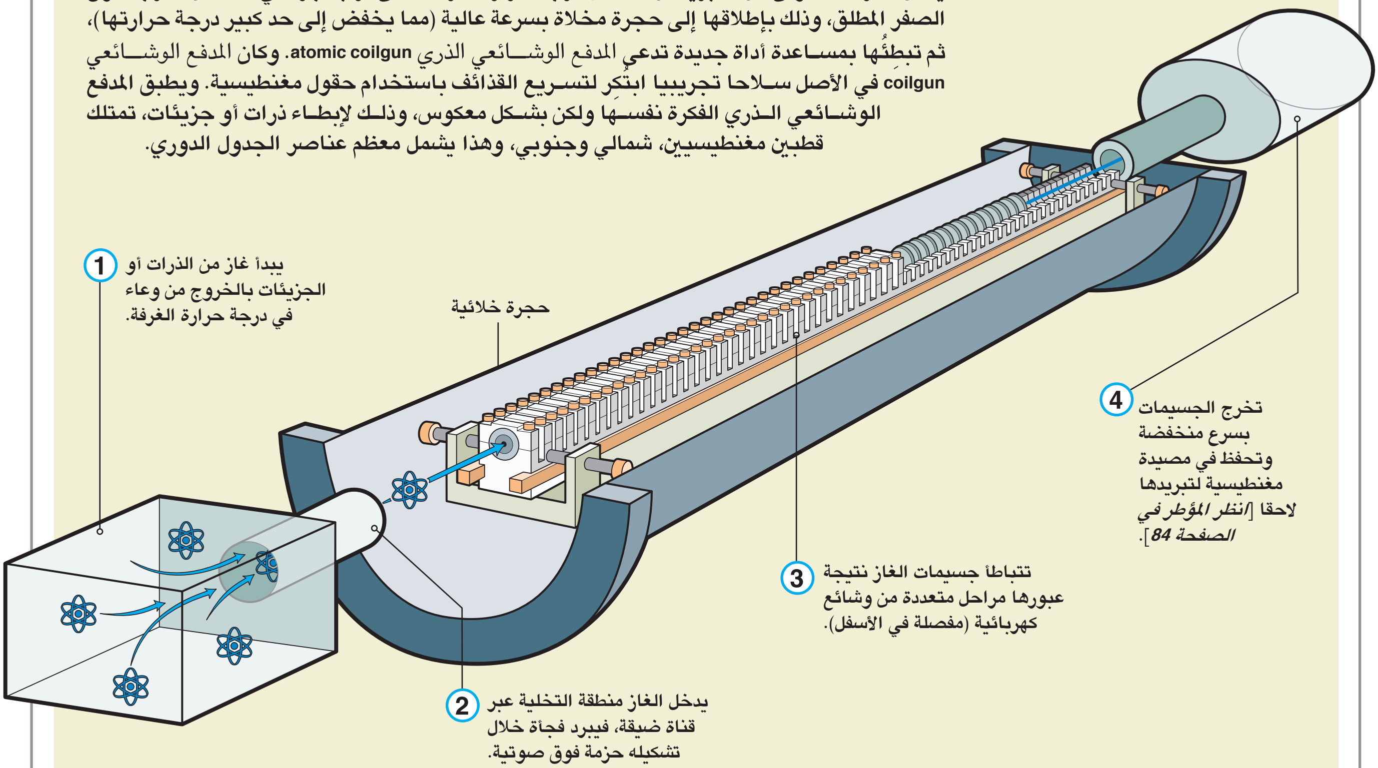
لقد كنت أفكر في طرائق تبريد عامة قبل أن يفكّر أحد في المدافع الوشائعية الذرية، لكنني لم أجد، ولفترة طويلة، حلا لذلك. لقد كانت تقنية التبريد بالليزر، التي اختُرعت في ثمانينات القرن العشرين، ناجحة جدا – ونتج منها توليد حالة للمادة تدعى «**كثافات بوز-أينشتاين**»[5] ومَنْحُ جائزتي نوبل في الفيزياء لعامي 1997 و 2001. غير أن مجال تطبيق التبريد

(*) One-Way Roads
(١) supersonic beams
(٢) مدفع ذو وشائع أو مسرع قذائف ذو وشائع.
(٣) وشائع ج: وشيعة.
(٤) atomic coilguns
(٥) Bose-Einstien condensates انظر: «*كثافة بوز-آينشتاين*»، **العلوم**، العدد 11(2000)، صفحة 54. (التحرير)

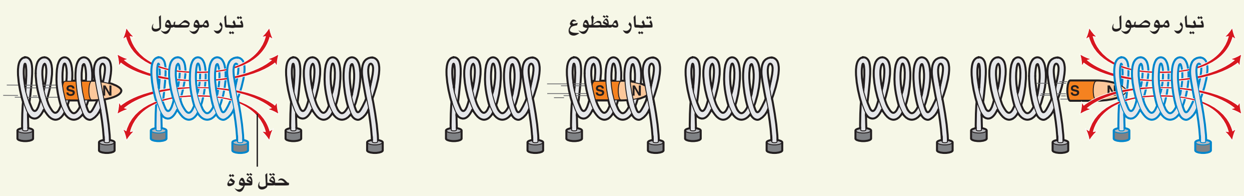
مرحلة التبريد الأولى

الكوابح المغنطيسية(*)

يمكن للمرحلة الأولى من التبريد أن تخفّض درجة حرارة غاز ما حتى قرابة جزء في المئة من الدرجة فوق الصفر المطلق، وذلك بإطلاقها إلى حجرة مخلاة بسرعة عالية (مما يخفض إلى حد كبير درجة حرارتها)، ثم تبطئُها بمساعدة أداة جديدة تدعى المدفع الوشائعي الذري **atomic coilgun**. وكان المدفع الوشائعي **coilgun** في الأصل سلاحا تجريبيا ابتُكِر لتسريع القذائف باستخدام حقول مغنطيسية. ويطبق المدفع الوشائعي الذري الفكرة نفسها ولكن بشكل معكوس، وذلك لإبطاء ذرات أو جزيئات، تمتلك قطبين مغنطيسيين، شمالي وجنوبي، وهذا يشمل معظم عناصر الجدول الدوري.



كيف يعمل المدفع المعكوس



1 تيار في وشيعة (ملف) **coil** يولد قوى مغنطيسية تدفع جسيما (رصاصة) بعيدا عن الوشيعة. وهذا يبطئ الجسيم المقترب.

2 عند وصول الجسيم مركز الوشيعة (الوشيعة)، يُقطع التيار؛ وإلا، ستدفع القوى الجسيم عند المخرج مرجعة إياه إلى سرعته الأصلية.

3 يتحرك الجسيم نحو الوشيعة التالية، وتعاد الكرّة مُنْقِصَةً سرعة الجسيم بعد كل مرحلة.

بالليزر محصور غالبا في ذرات عناصر العمود الأول من **الجدول الدوري**(1)، مثل الصوديوم والبوتاسيوم لأنه يسهل لذرات هذه العناصر الانتقال من **حالة أساسية**(2) إلى **حالة مثارة** exited state وحيدة، بحسب ما تتطلبه هذه التقنية. وقد نظرت في تقنية أخرى هي التبريد بالتبخير، التي تعتمد على كشط الذرات السطحية الحارّة، تاركا الذرات الباردة (اعتمادا على المبدأ نفسه الذي يبردنا عندما نعرق ويتبخر هذا العرق عن الجلد). ولكن من دون التبريد بالليزر يصعب جدا الحصول على كثافة عالية كفاية للشروع في التبخر في المقام الأول.

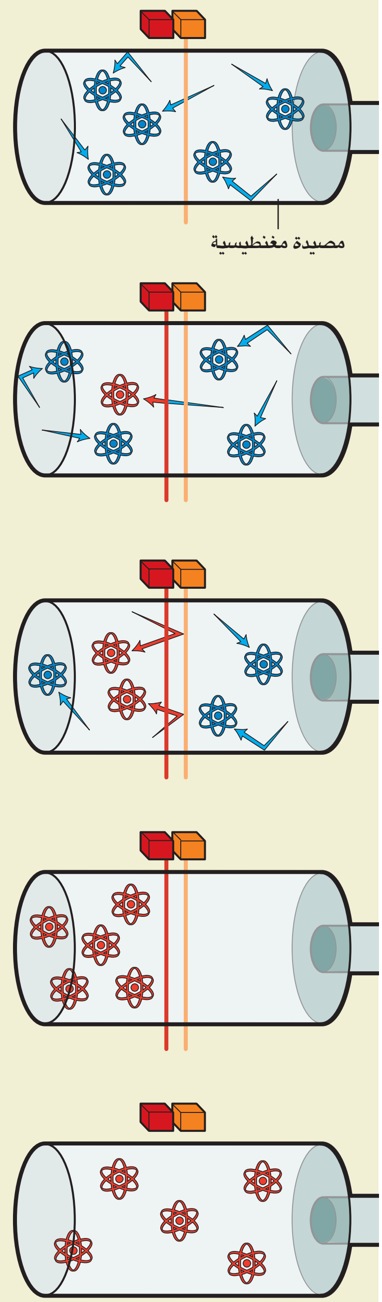
وفي الشهر 2004/2 زرت جامعة پرنستون وتحدثت مع <J .N. فيش> [الفيزيائي المختص بالبلازما]، فأخبرني بفكرة طوّرها للتو، مفادها: كيف يمكن دفع تيار كهربائي من الإلكترونات في بلازما – على شكل غاز من الإلكترونات وأيونات موجبة – وفق مخطط يجعل الإلكترونات تسير باتجاه واحد وليس بالآخر. وتساءلت عما إذا كان بإمكاننا تحقيق

(*) Magnetic Brakes
(1) the periodic table
(2) ground state

مرحلة التبريد الثانية

برود شيطاني(*)

بعد أن يبرِّد المدفع الوشائعي الذري أو أي أداة أخرى، غازا حتى أجزاء من مئة من الدرجة فوق درجة حرارة الصفر المطلق، يمكن أن يبدأ تجميد جدي تصل درجة حرارته إلى جزء من مليون من الدرجة فوق الصفر المطلق أو أدنى من ذلك. تحقق التقنية الجديدة المعتمدة على تبريد فوتون واحد هذه الغاية باستعمال بوابة وحيدة الاتجاه مستلهمة من تجربة ذهنية تعود إلى القرن التاسع عشر. والفكرة هي أن تركِّز البوابة أولا الذرات في حجم أصغر من الحجم الأصلي (ولكن من دون أن ترفع درجة حرارتها) ثم تتركها تتمدّد إلى حجمها الأصلي (مما يخفض درجة حرارتها).



(1) تُحصر ذرات في حالة أولية مفروضة (الزرقاء) في مصيدة مغنطيسية، ثم يشغل الليزر (اللون البرتقالي)، الذي يؤثر في هذه الذرات فقط عندما تكون متموضعة في حالة ثانية.

(2) تحول حزمة ليزر ثان (الحمراء) حالات الذرات من الزرقاء إلى حالات ثانية مستقرة (الذرات الحمراء)، عندما تلاقيها.

(3) ترتد الذرات في الحالات الحمراء عند اصطدامها بحزمة الليزر البرتقالية مما يجبرها على البقاء في الجانب الأيمن من المصيدة.

(4) تعبر جميع الذرات في النهاية الليزر الثاني متحولة إلى ذرات حمراء ومحصورة في الجانب الأيمن. ولكنها تكون في درجة الحرارة نفسها، التي بدأت منها، ولكن في حجم أصغر من الأصلي.

(5) يسمح للذرات بالتمدد ببطء لتشغل حجمها الأصلي. فيبرد الغاز خلال تمدّده.

شـيء مشابه بالذرات أو الجزيئات: بناء «**بوابة**» gate تسمح بمرور الذرات عبرها في اتجاه واحد وليس بالآخر.

لنترك جانبا وللحظة المشكلة التقنية المتعلقة ببناء **بوابة وحيدة الاتجاه** one-way gate، لأشرح، أولا، لماذا سيساعد بناء مثل هذه الأداة على تبريد غاز ما. قد تكون الخطوة الأولى هي إنقاص حجم الغاز من دون أن ترتفع درجة حرارته. ولنفترض بوابة تقسم حاوية إلى حجمين. ستتراقص ذرات الغاز في أرجاء الحاوية عشوائيا، وستنتهي عاجلا أم آجلا بالطيران، باتجاه البوابة. فإذا سمحت لها البوابة بالعبور وفق اتجاه واحد فقط، وليكن من اليسار إلى اليمين، ستتركّز جميع الذرات في النهاية في يمين الحاوية. ومن المهم ألاّ تتغير سرعات الذرات في هذه العملية، ومن ثَمّ سيبقى الغاز في درجة الحرارة نفسها، التي بدأ منها. (من وجهة النظر الترموديناميكية، تختلف هذه العملية اختلافا كليا عن عملية ضغط الغاز إلى الجانب الأيمن من الحاوية، لأن ذلك يسرع الذرات ومن ثَمّ يرفع درجة حرارته).

ستكون الخطوة الثانية جعل الغاز يتمدّد إلى حجمه الأصلي. ونتيجة لتمدّد الغاز تنخفض درجة حرارته، وهو السبب نفسه الذي يجعل علب بخ الرذاذ تبرد عند استعمالها. لذلك سيكون لدينا في النتيجة النهائية غاز في حجمه الأصلي، ولكن في درجة حرارة أدنى من درجة حرارته الابتدائية.

إن المشكلة التي أربكت الفيزيائيين لمدة طويلة هي أن بوابة فصل الذرات هذه، تبدو كأنها تنتهك قوانين الفيزياء. إذ إن **أنتروبية**[1] entropy الغاز في حالته المضغوطة (أي قياس فوضى المنظومة) أخفض مما كانت عليه. ولكن، من وجهة نظر قانون الترموديناميك الثاني، يستحيل خفض أنتروبية منظومة ما من دون صرف طاقة، وإنتاج أنتروبية إضافية في مكان آخر.

إن هذه الأحجية بقيت موضع جدل منذ عهد التجربة الذهنية التي طرحها <C .J> مكسويل عام 1871، حيث يمكن وفقها «لكائن ذكي لديه يدان حاذقتان» أن يرى الجسيمات القادمة والذاهبة فيفتح أو يغلق بوابة بصورة مناسبة. هذا المخلوق الافتراضي عرف باسم «عفريت مكسويل» Maxwell's demon، وبدا أنه ينتهك القانون الثاني في الترموديناميك لأنه يخفض أنتروبية الغاز، بينما يستهلك كمية مهملة من الطاقة. وقد استطاع <L.> سيلارد>، بعد عدة سنوات، قرابة عام 1929 حلّ هذه الأحجية. فاقترح أن العفريت يجمع في كل مرة معلومات تفتح بوابة المصيدة. وجادل في أن هذه المعلومات

(*) Devilishly Cool

(١) أو القصور الحراري. (التحرير)

تحمـــل أنتروبية، تُوازن تماما نُقصـــان أنتروبية الغاز، وبذلك يُنقذ القانون الثاني. (كان <سـيلارد> سـابقا لزمانه: فبعد بضعة عقود، دفع المفهومُ القائل إن للمعلومات معنىً فيزيائيا حقيقيا محددا علمَ المعلوماتية الحديث إلى الأمام).

لقد كانت جميع الأفكار بخصوص معضلة <مكسـويل>، بما فيها حلّ <سـيلارد>، تخمينا محضـا، وبدت لعقود عدة أنها سـتبقى كذلك. غيـر أنني وزملائي حققنـا أول تجربة فيزيائيـة تحاكي تجربة <مكسـويل> الذهنيـة. (لقد حققت تجارب حديثة مماثلة من حيث المفهوم، الغايةَ نفسـها، ولكن بوسـاطة الميكانيك النانـوي وليس عن طريق بوابات للغاز). وقد استعملناها لتبريد الذرات حتى درجات حرارة تصل إلى خمسـة عشر جزءا من المليون من الكلفن.

وكما سنرى، سـتوضّح الأداة التي بنيناها كيـف يمكن لعفريت مكسـويل أن يوجد عمليا، وكيف أن رؤية <سيلارد> العميقة - تلك، من أن المعلومات تؤدي دورا مهما، كانت صحيحة.

ولكـي تعمل البوابة الوحيـدة الاتجاه كما هو مطلوب، قدّرتُ بوجوب امتلاك ذرات الغاز حالتين مختلفتين (تشـكيلين مختلفين لمدارات الإلكترونـات)، ولكليهمـا طاقتان منخفضتان ومن ثم مسـتقرتان. ولنـدْعُ هاتين الحالتين: الحمراء والزرقاء. لقد عُلقـت الذرات في حاوية تقطعها عند منتصفها حزمة ليزر، وكانت هذه الحزمة مضبوطة على طول موجي يجعل الذرات الحمراء ترتد عند اقترابها منها، بحيث إنها تفعل عمليا عمل بوابة مغلقة. في البدء تكون جميع الذرات زرقاء، ومن ثم فهي تستطيع الطيران عبر الحاجز الليزري من دون إعاقة. ولكن الذرات تصطدم، على يمين الحاجز مباشرة، بليـزر ثان **مـوالـف** tuned، بحيث يقلب الـذرات الزرقاء إلى ذرات حمراء نتيجة تبعثرهـا لفوتون منفرد، وبما أن الذرات هـي الآن حمـراء فإنها تُرد من قبل حزمـة الحجز وبذلك لا تستطيع عبور البوابة والعودة إلى الجانب الأيسر. وتدريجيا سـتتراكم جميع الذرات مع مرور الوقت، في الجانب الأيمن، تاركة الجانب الأيسر خاليا.

وفـي بداية عـام 2008، بيّنـا أولا صحة عمـل بوابتنا، باسـتخدام ذرات الروبيديـوم. وأطلقنا على طريقتنا اسـم «**التبريـد بفوتون واحـد**»[1]، لتمييزها عـن التبريد بالليزر، الذي يتطلّب فوتونات عديدة لتبريد كل ذرة.

وبينما كنا نطور عملنا، قام كل من <G. موگا> [من جامعة بيلباو في إسبانيا] وزميله <A. روشهاوبت> [الذي يعمل حاليا في جامعة لينبـز بهانوڤر في ألمانيـا] بتطوير مفهوم مماثل بشـكل مسـتقل عما قمنا به معا. ومنذئذ عمـل ثلاثتنا معا على تطويـر بعض الجوانب النظرية للبوابة. وفي بحث علمي مشـترك نُشـر عام 2006، بيّنا أنه عندما تُبعثـر ذرة فوتونا واحدا، فإن هذا الفوتون يحمل معه معلومات عن تلك الذرة - ومـن ثم كمّا صغيرا من الأنتروبية. إضافة إلى ذلك، وبما أن الفوتون الأصلي كان جزءا من سلسـلة مرتبة من الفوتونات (حزمة الليزر)، فـإن الفوتونات المبعثرة تتطاير في اتجاهات عشـوائية. وبذلـك تصبح أقل انتظاما، وقـد بيّنا أن الزيادة

تبريد فوتون منفرد يوضح فكرة «عفريت مكسويل»، ذلك المخلوق الذي يبدو أنه يخرق مبدأ الترموديناميك الثاني.

المقابلـة في أنتروبيـة الضـوء، تـوازن تماما نقصـان أنتروبية الـذرات نتيجة حصرها في البوابـة الوحيدة الاتجاه. لذلـك، فإن التبريد بفوتـون واحد يعمل عمل «عفريت مكسـويل» بالمعنى الدقيق الذي تصوّره <سـيلارد> تماما في عام 1929. والعفريت في هذه الحالة بسيط جدا وكـفء: فهو حزمة ليـزر تحرض عملية لاعكوسة نتيجة تبعثر فوتون واحد. وبالتأكيد، فإن عفريتا كهذا، ليس كائنا ذكيا ولا حاسوبا ولا يحتـاج إلى اتخاذ قـرارات اعتمادا على المعلومات الواردة من الذرات. وإن حقيقة توفر المعلومـات وإمكانية تجميعهـا من حيث المبدأ يعتبر كافيا.

حدود الاصطياد والتبريد(*)

إن التحكم في حركـة الذرات والجزيئات، يفتح اتجاهات جديدة في العلم. فقد حلم الكيميائيون منذ أمد بعيد باصطياد جزيئات وتبريدها لدراسـة تفاعلاتها الكيميائية في المنظومة الكموميـة. يعمل **المدفع** coilgun على أي جزيء مغنطيسـي، ويكمـل أي طريقة أخرى تسـتعمل قـوى كهربائية، بدلا من القوى المغنطيسـية لإبطاء أي جزيء مستقطب كهربائيا. وإذا كانت الجزيئات صغيرة كفاية، يمكن للتبريد بفوتون منفرد أن يخفض درجات الحرارة، إلى درجات منخفضة كفاية، بحيث تسود الظواهر الكمومية. فعلى سبيل المثال، تتحول الجزيئات إلى موجات محدودة، يمكنها التفاعل كيميائيا على مسـافات أكبر مـن المعتاد، ومن دون الحاجة إلى الطاقة الحركية التي تحفـز التفاعلات العادية. وهنـاك الآن عدة فرق بحثية تتابع هذا التوجه.

وهناك ميزة رئيسـية أخرى للتبريـد بفوتون منفرد وهي

(*) Frontiers of Trapping and Cooling

(1) single-photon cooling

أنها تطبق على الهدروجين - ونظيره الديتريوم (الذي يمتلك نترونا إضافــة إلى البروتون الوحيد في النــواة) والتريتيوم (الذي يحوي نترونين إضافيين). وفي تسعينات القرن الماضي اســتطاع كل من <D. كليبنــر> و <J. T. گريتاك> [اللذان عملا معا فـــي المعهد MIT] وبجهود بطوليــة اصطياد الهدروجين وتبريده باســتعمال طرق تبريد بالســائل والتبريد بالتبخير، غير أنهما لم ينجحا قــطُّ في تبريد النظائر الأخرى بالطريقة نفســها. ويتوقف إحداث مزيد من التقدم، على طرائق جديدة لاصطياد نظائر الهدروجين وتبريدها بأدوات بســيطة نسبيا. غيــر أن التبريد بفوتــون واحد يلائم تمامـــا اصطياد نظائر الهدروجين الثلاثة وتبريدها. وسيكون الهدف التالي، تحسين حدّ الدقة العالية جدا للقياسات الطيفية، الذي هو تطبيق آخر مهم للذرات الباردة.

هذا وقــد يمكننا اصطياد ذرات التريتيــوم وتبريدها من قيــاس كتلــة **النترينوهــات** neutrinos، تلــك **الجسيمات الأوليــة** elementary particles الأكثــر وفرة على الإطلاق من بين الجســيمات والمعروفة في الكون، ومن ثم ســيؤدي ذلك إلى فهم أفضــل للآثار **التثاقلية** gravitational للجســيمات في تطور الكــون؛ إذ إن التريتيوم عنصر مشــعّ يتحول إلى هيليوم 3 عندما يتخامــد أحد نتروناته إلى بروتون وإلكترون ونترينو مضــادّ، الذي هو المادة المقابلة للنترينو. ويســتطيع الفيزيائيون بقياس طاقة الإلكترون الذي يصدر كأشــعة بيتا، تعيين الطاقة المفقودة مــع النترينو - الذي يمر عبر الأجهزة من دون أن يُكْشَــف - ومن ثم تعيين كتلــة النترينو المضادّ؛ ويتوقــع الفيزيائيــون أن تكــون كتلة النتريـنــو مطابقة لكتلة النترينو المضاد.

وســتطبق الطرائق نفســها على اصطيــاد الهدروجين المضاد وتبريــده، وهو المقابل المــادي للهدروجين. وحديثا جرى الحصول على الهدروجين المضاد في المختبر ســيرن CERN، المقــام قــرب جنيف، وهو ســريع العطب لأن المادة المضادة ســرعان ما تختفي على شــكل نبضة طاقة بمجرد ملامســتها للمادة. ولذا لا يمكن في هذه الحالة اســتعمال طريقــة الحزمة فوق الصوتية. وعوضا عن ذلك، يمكن توليد حزمة مــن ذرات الهدروجــين المضاد، بإطــلاق بروتونات مضـــادة على غيمة بوزيترونات، ثم إيقافها وتبريدها بطريقة «عفريت مكسويل». وستمكّننا تجارب باستخدام الهدروجين المضاد من الإجابة عن الســؤال البسيط التالي: هل تسقط المادة المضادة ســقوطا حرا كما تسقط المادة؟ وبتعبير آخر، هل تفعل **الثقالة** gravity فعلها بالطريقة نفســها على جميع الأجسام التي لها الكتلة نفسها؟

يمكن للتقنيات الجديدة التي تســتعمل مدفعا وشـــائعيا ذريــا وتطبــق تقنيــة التبريد بفوتــون منفــرد، أن يكون لها تطبيقــات عمليــة مهمة أيضا. فما زالــت عملية فصل نظائر معظم عناصر الجدول الدوري تُنجز باســتعمال أداة تسمى **كالتــرون** calutron، اخترعها <E. لورانس>، عندما كان يعمل في مشروع مانهاتن. وتفصل هذه الأداة (الكالترون) النظائر التــي يختلــف بعضها عن بعض اختلافا طفيفــا في الكتلة، باســتعمال حقل كهربائي. وهذا يشــبه في الأساس مطياف كتلة ضخما - والكالترون الوحيد الفعال موجود في روسيا، وهو ذو مردود رديء جدا. وبالإمكان استعمال مفهوم مماثل لمفهــوم «عفريت مكســويل» فـــي التبريد، لفصــل نظائر في حزمة، وســيكون أكثر كفاءة من الكالتــرون. وبهذه الطريقة يمكن إنتاج كميات ضئيلة من النظائر، مثل الكالســيوم 48 أو اليتريبيوم 168، المناسبين للعلاج الطبي وللأبحاث الأساسية، من دون أن يكونا خطيرين من حيث الانتشار النووي لأن هذه الطريقــة عملية فقط من أجل فصل كميــات ضئيلة جدا من نظير معين.

ونتتبع حاليا تقنية أخرى مشتقة من تلك، تمكننا من تشكيل بنى قياساتها نانوية. فعوضا عن استخدام حقول مغنطيسية لإبطاء الذرات، يمكن اســتعمال الحقول **لتبئيــر** focus حزم الــذرات، كما تفعل عدســة بالضوء، ولكن **بميــز** resolution يقارب النانومتر الواحد فقط أو أحســن. ويمكن لحزم كهذه، أن تُرســب بعدئذ الذرات لتشكيل بنى ذات تفاصيل أدق مما هــو ممكن الآن **بالحفر الضوئــي** optical lithography، الذي يُعدّ الطريقة الذهبية المســتعملة لتصنيع **شــيبات الحاسوب** computer chips. ومقدرتنــا على تشــكيل بنـــى على المقاس النانــوي بهذه المقاربة من **الأســفل إلى الأعلــى** bottom-up، بدلا من المقاربات من **الأعلى إلى الأســفل** top-down، الأكثر شيوعا الآن في علم النانو، ستؤدي إلى استهلال حقل جديد أدعوه «**علم الذرات** atomoscience».

هذا وربما لن يكون الوصول إلى الصفر المطلق ممكنا، كما كان الحال كذلك دائما؛ لكن ما زال علينا الكثير لاكتشــافه - واكتســابه - في الطريق الذي يوصلنا إلى هناك. ■

مراجع للاستزادة

The Spectroscopy of Supercooled Gases. Donald H. Levy in *Scientific American*, Vol. 250, No. 2, pages 68-77; February 1984.

Demons, Engines and the Second Law. Charles H. Bennett in *Scientific American*, Vol. 257, No. 5, pages 88-96; November 1987.

Laser Trapping of Neutral Particles. Steven Chu in *Scientific American*, Vol. 266, No. 2, pages 48-54; February 1992.

Scientific American, March 2011

مسألة مفتوحة[*]

ليس نجــاح برمجيات گوگل الهاتفيــة ***أندرويْد****[(١)]* *Android دليلا على أن الانفتاح هو الأفضل.*



المؤلف

David Pogue

كاتب عمود تقانة المعلومات الشخصية لدى صحيفة نيويورك تايمز، ومُضيف للمسلسل العلمي القصير الجديد Making Stuff لدى قناة التلفزة الأمريكية PBS.

يســود اعتقــاد أن الشــركة آپــل Apple أضاعت أول فرصــة لها للهيمنــة على صناعة الحاســوب. فقد أخفقت في اكتســاح سوق الحواسيب الشخصية لأن نُظُمَها كانت شــديدة الانغلاق، ليس بالمعنى الحرفــي فقط - إذ كانت حواســيب ماكينتوش الأصلية محكمة الإغلاق، فتعذَّر على المُصلِّحين الهواة العبــث بأجزائها الداخلية - بل من حيث **الترخيص**[(٢)] في استعمالها. فشركة آپل وحدها هي صانعة الحواســيب التي تعمل بنظــام التشــغيل ماكينتوش. أما الشركة مايكروســوفت Microsoft، فقد رَخَّصت استعمال نظام التشــغيل ويندوز Windows لأي شــركة من شركات الحاســوب، وهو مستعمَل اليوم لتشــغيل 90 في المئة من الحواسيب الشخصية في العالَم.

وبعد بضع سنوات، حصلت تجربةٌ ثانية، تناولت هذه المرة مشغِّلات الموسيقا. واتَّبعت الشــركتان آپل ومايكروسوفت هنا أيضا النهجَ نفسه الذي اتبَعتاه مع الحواسيب. فمن جهة شــركة آپل، يصرّ <S. جوبس> على أن يكون الصانع الوحيد لكلّ من مشــغِّل الموســيقا آيپود iPod وبرمجياته. ومن جهة شــركة مايكروسوفت، توفِّر الشــركةُ نظاما برمجيا لتشغيل الموســيقا، التي يطلق عليها **پلايزفورشــور** PlaysForSure، لأي شركة تدفع رسوم الترخيص.

ولكن النتائج هــذه المرة كانت معكوســة، فانتصرَ النموذجُ المســجَّل بحقــوق ملكية خاصــة، محققًا نجاحــا عظيما. وقد اكتســح الآيپود 85 في المئة من ســوق مشغِّلات الموسيقا، في حين تخلصت شــركة مايكروســوفت من النظــام البرمجي پلاَيْزفورشور.

(ومن ثمَّ، فإن شــركة مايكروســوفت أجرت تجربة ثالثة، قدّمت فيها نظامَ تشغيل موســيقا جديدا تماما، أطلقت عليه اســم زيون Zune، اعتمدت فيه إلى حدّ كبير على الهندســة المخلقة لنموذج شركة آپل. وقد أخفق هذا النظام أيضا.)

وهكــذا، فإن بين أيدينــا عدة دراســات بضوابط علمية وذات نتائج متناقضة. فمــا هي المقاربة الصحيحة يا ترى؟ الترخيص أم التقييد؟

إننا نخوض حاليّا حربَ تسويق كبرى بحثا عن النموذج الذي يضمن الهيمنة على الســوق، وهذا هو أكبر اختبار يحصل حتــى الآن: إنها معركة **هاتف التطبيقات**[(٣)] التي تدور هذه المــرة بين آپل (وهاتفها آيْفون iPhone المحمي بحقوق ملكيــة خاصة) وگــوگل (وبرمجياتهــا **أندرويْد** Android المفتوحة).

تتمثل مقاربةُ آپل مرة أخرى بأنها تحتفظ لنفســها حصرا صنعَ العتاديات والبرمجيات، دون السماح لأحد بصنع أجهزة الآيْفــون. أما گوگل، فقد اعتمدت مبدأ مايكروســوفت في أنه «بإمكان أيِّ جهة أن تستعمل برمجياتنا». لذلك، فإن برمجيات گوگل الهاتفية أندرويْد ليست مفتوحة فحسب، بل هي مجانية أيضا؛ إذ تستطيع أيُّ شركة صنعَ هاتف تطبيقات (أو **حاسوب لوحي**[(٤)] أو **قارئ كتاب إلكتروني** e-book reader) مســتعملة برمجيات أندرويْد من دون أن يترتب على ذلك دفع أي رســوم إلى گوگل، بل ويمكنها إدخال تغييرات عليها.

وتشــهد هذه التجربة تطوُّرا ممتازا حتى الآن. فالشركات في شتى أنحاء العالم تُنتِج هواتف أندرويْد بأعداد كبيرة، وقد وصــل عدد تلك الهواتف إلــى 30 مليونا، وهو في تزايد. أما شركة آپل، فقد باعت 75 مليون هاتف آيْفون، لكنها بدأت قبل گوگل بسنة كاملة.

ويمثِّل ذلك نجاحا كبيرا لبرمجيات أندرويْد. ولكنها - من حيث كونها تجربة - تمثل تجربة ســيِّئة التصميم. والسؤال

(*) AN OPEN QUESTION

(١) Android: نظام تشــغيل للأجهزة النقالة يقوم على نموذج معدَّل من لينُكس، وكانت قد طوَّرته في البداية الشركة Android Inc التي اشترتها الشركة گوگل وباعتها فيما بعد إلى الشركة Open Handset Alliance.

(٢) licensing

(٣) app-phone: جهــاز هاتفي خلوي يمكن أن تُشــغَّل فيه تطبيقات مختلفة على غرار تطبيقات الوِب.

(٤) tablet phone: جهاز يجمع بين مزايا الهاتف والحاسوب اللويحي. (التحرير)



هنا هو: ما مقدار الجاذبية في كون نظام أندرويْد مفتوحا؟

والحقيقــة أن بالإمكان القول إن «الانفتــاح» يجعل حياة المستهلكين بائسة؛ فهو يعني أن الشركتين AT&T وڤريزون Verizon تســتطيعان ملء هاتفك الجديــد بأيقونات **خدماتها المضافـة**[1] البغيضــة والباهظة الثمن. (لا يمكن أن تســمح شــركة آبل على الإطلاق لطرف ثالث بإدخال برمجيات رديئة على جهاز هاتف آيْفون.)

وأســوأ من ذلك أن الانفتاح يعنــي أيضا وجود أكثر من هاتف أندرويْد واحد. فيتحوَّل النظام البرمجي للأندرويْد إلى مجموعة متشــظية من النماذج المعدلة قليلا. فما عليك إلا أن تســأل أي مالك لهاتف أندرويْد، أغرته إمكانية تشغيل فلاش ڤيديو عندما أطلقت الشــركة آدوبــي Adobe أخيرا الإضافة البرمجية اللازمة لتشــغيل برامجها على الأندرويد، ووَجَدت أنه لا يعمل إلا في عدد ضئيل من نماذج أندرويْد.

يُضاف إلى ذلك أن ســوق تطبيقات گــوگل أكثر انفتاحا من ســوق آبل. فمن المعروف أن شــركة آبــل توظف العديد مــن الفنيين للتأكد مــن عمل كل تطبيق علــى حدة. ومن بين أمور أخرى أن بالإمكان تشــغيل تطبيقات إباحية على هاتف أندرويْد، ولكن ليس علــى هاتف آيْفون. وذلك يعني أيضا أن سوق آبل أفضل تنظيما وأعلى جودة من سوق گوگل المختلط الخاص بأندرويْد.

قد يبدو الســؤال التالي حاسما: هل من الممكن أن يكون «الانفتاح» وسيلة كبرى للتضليل وصرف الاهتمام عن المهم من الأمور؟

هل الانفتاح، من منظور مصنِّعي أجهزة الهاتف، هو فعلا العامل الجاذب للأندرويْد؟ أم إن ما يُغريهم هو أن الأندرويْد نظام تشغيل هاتفي أنيق كامل، مع مكتبة برمجيات متضمَّنة فيه - ولا يكلِّف مصنِّع الهواتف فلسا واحدا إضافيا؟

ومن منظور المستهلك، هل ثمة من أهمية للانفتاح فعلا؟ هل دخلَ أحدٌ إلى متاجر الشــركة ڤريزون مثلا وقال: «أريد هاتف درويْد Droid لأنني أريد إدخالَ تحسينات تجميلية على الأندرويْــد» بدلا من أن يقول: «أريــد هاتف درويْد لأنه رقيق وسريع ويعمل بنظام ڤريزون؟»

قــد يكون ما يحتاج إليــه العالَم اليوم هــو تجربة علمية كبرى أخيرة: نُظُم (آبل) مغلقــة ومحمية ملكيتها مقابل نُظُم مغلقــة ومجانية (گوگل). ألا ترى أن الفصل، بطريقة ما، بين الصفتَيْن «مجاني» و«مفتوح» يمكِّن بوضوح من رؤية السبب الكامن وراء استمرار نجاح أندرويْد؟

أقرّ بأن تلك التجربة لن تحصل، مع أنها الطريقة الوحيدة لإدراك القيمة الحقيقية «للانفتاح». ■

<D. بوگ>

(1) add-on services: الخدمة المضافة هي خدمة يقدمها مســتثمر مشارك ولها طبيعة غير مالية، ومن أمثلتها المساعدة على تجميع فريق عمل لإدارة مشروع أو شركة، أو التحضير لتغيير طبيعة الشركة. (التحرير)

الأسلحة المعتمدة على الحزم الشعاعية تصبح حقيقة(*)

استخدام ليزرات الحالة الصلبة بالقرب من أرض المعركة.

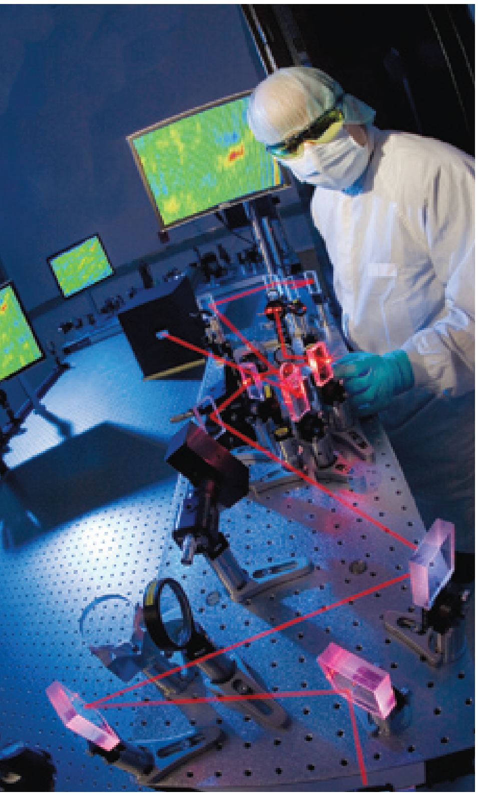
إن مدسسا يُطلق حزمة (شعاعية)، والذي اعتبر من حكايات الخيال العلمي، قد يدخل فعلا ترسانة الحرب الأمريكية خلال سنوات قليلة. فقد أجرى المهندسون في عدد من المؤسسات الدفاعية اختبارات ناجحة لمركبات أساسية لنموذج أوليّ من منظومة «مدفع ليزري» بحجم عربة، وقادر على إطلاق حزمة (شعاعية) من طائرة أو سفينة بَحْرية أو عربة مسلحة لتدمير أهداف تبعد كيلومترات عدة، حتى وإن كان الهدف محجوبا بالغبار أو بالضباب.

فلليزرات العالية القدرة - والتي تقاس بمئات إلى آلاف الكيلوواطات - فوائد عدة مقارنة **بالأسلحة القذفية** projectile weapons التقليدية، وذلك حسب قول <M. نيس> [مدير قسم الليزرات العالية الطاقة الدفاعية في مكتب التقانات المشتركة بنيومكسيكو]. كما قال إن: «لهذه الليزرات دقة عالية وإمكانات سرعتها تقترب من سرعة الضوء، وآثارها الجانبية صغيرة أو معدومة.»

ومع أن التوقعات السابقة المتفائلة سمحت للمشككين بأن يسخروا من أن «الليزرات هي أسلحة المستقبل وستبقى كذلك؛» لكن **الأسلحة المعتمدة على الحزم الشعاعية**(1) beam weapons تبدو الآن حقيقية. «فالصناعة على عتبة إنتاج أسلحة طاقية موجهة عملية للأغراض العسكرية الدفاعية والهجومية»، وفقا لما يراه <نيس>.

وخلال عام 2006 أنجز الباحثون في مختبرات الشركات: Northrop Grumman، Raytheon، Textron وكذلك في مختبر لورنس ليفرمور الوطني (LLNL) وبدعم من القوى الجوية والجيش والبحرية، تقدما ملحوظا في «ليزرات الحالة الصلبة الحجمية»(2) التي تُشغّل مباشرة بالكهرباء. إن ليزر الحالة الصلبة الموصول بمولد كهرباء عربة أرضية أو خلية وقود أو مجموعة تخزين، والقادرة على توليد قدرة أكبر من مئة كيلوواط، يمكن النظر إلى هذا الليزر على أنه مخزن لانهائي لطلقات رخيصة الثمن يمكنها تحطيم طلقات هاون وقذائف مدفعية وقذائف موجهة وهي في الجو على مسافة من خمسة إلى ثمانية كيلومترات. كما أن لمثل هذه المنظومة القدرة على تعمية **المحسّات** sensors الكهرضوئية وتلك التي تعمل في المجال تحت الأحمر والموجودة في أرض المعركة، كما تُمكن وحدات الجنود من إبطال مفعول الألغام **ونبائط** devices **التفجير المرتجلة**(3) من مسافة آمنة.

والمفتاح لهذا الجهاز (ليزر الحالة الصلبة) ذي الطاقة العالية هو **الوسط الربحي**(4)، أي المادة التي تضخم فوتونات الليزر. فالطبقات شبه الموصلة في **الثنائي الليزري**(5) المستخدم في ألعاب الـ DVD وفي إلكترونيات المستهلك الأخرى، تضخم الضوء بعد قفزة بدئية من شحنة كهربائية. أما الوسط الربحي في ليزر للحالة الصلبة الحجمي، فهو عبارة عن لوح مربع (أو مستطيل) أبعاده بضعة سنتيمترات، كما شرحت <J. كيش> [مديرة تقانة الطاقة الموجهة ومنتجاتها لدى شركة نورثروب كرومان للتقانات الفضائية]. وتتألف **الصفائح** slabs من مواد خزفية قاسية مثل **ياتريوم-ألمونيوم-كارنيت** (YAG)(6) **مشاب**(7) بالنيوديميوم (Nd)، العنصر الأرضي النادر. ولكن بدلا من **تعبئة**(8) وسط الربح كهربائيا، فإن كمية كبيرة من الثنائيات الليزرية تضخ هذا الوسط أو تثيره. وبشكل عام، فإنه كلما



أحد نظم ليزر الحالة الصلبة تحت الاختبار في شركة [نورثروب كرومان] لتقانات الفضاء. إنه نموذج عالي القدرة قادر على توليد مئة كيلوواط أو أكثر، يمكّن القوات الأرضية من تدمير قاذفات الهاون والصواريخ القذفية.

(*) BEAM WEAPONS GET REAL أو: الأسلحة الحزمية تصبح حقيقة.
(1) أو: الأسلحة الحزمية.
(2) solid-state bulk lasers
(3) improvised explosive devices
(4) the gain medium
(5) laser diodes
(6) yttrium - aluminum - garnet
(7) doped
(8) priming

كبرت الصفيحة ازداد **خرج القدرة**[١].

إن لكل فريق بحثي طرقه في ربط عدة صفائح معا من أجل تشكيل «**سلاسل**» chains تنتج مستويات قدرة عالية من مرتبة عشرات الكيلوواطات، وذلك وفقا لما قاله <J. بونيس> [نائب الرئيس للتقانات التطبيقية في نظم Textron Systems]. ويتوقع المهندسون أن يتم قريبا إجراء شديد الترابط لهذه السلاسل معا بالتوالي أو بالتوازي وذلك للحصول على مئة كيلوواط، الذي يعتبر معيارا لمتوسط القدرة الضرورية للبدء بالتطبيقات العسكرية لليزر. وأهداف التشغيل الأساسية الأخرى، على حد قول <M. نيس> هي: زمن تشغيل يصل إلى 300 ثانية (زمن كاف لإرسال طلقات ليزرية متعددة) وكفاءة تحويل في نظم الطاقة الكهربائية إلى ضوئية تصل إلى 17% أو أكثر وبخاصة «**جودة حزمة**» beam quality مناسبة (**للتمحرق** focusing بشكل خاص) من أجل التأكد من وصول عدد كاف من الفوتونات إلى الهدف لتسخينه خارجيا أو لتحطيمه أو تفجيره أو إبعاده عن مساره.

وبفرض أن **الليزرات الصفحية** slab lasers تحقق تلك الأهداف، فإن تصنيعها للاستخدام في حرب حقيقية، يتوقف على نجاح تكاملها في منظومة تسلح عاملة، أي كونها بحجم يسمح بوضعها في عربة. إضافة إلى ذلك، فإنه لتشغيل سلاح ليزر الحالة الصلبة الحجمي، فإننا نحتاج إلى مولد طاقة كهربائية متجدد لنحو ألف كيلوواط أو أكثر ومبرد للتأكد من عدم تسخين الصفائح إلى حد تشويه الحزمة.

كما يتطلب نظام هذا السلاح وجود موجِّه للحزمة لتوجيه الفوتونات إلى الهدف – وقد يكون ذلك الموجه عبارة عن مرآة كبيرة متحركة مجهزة بضوئيات مناسبة أو **تشويهية** deformable للتعويض عن التشويه الجوي، الذي يمكن كشفه بحزمة تحسس ليزرية ذات قدرة منخفضة. وأخيرا، فإن تصويب نظام كهذا قد يعتمد على قاعدة رادارية أو منظومة توجيه ضوئية لإيجاد الهدف المقصود وتتبعه.

إن الأسلحة المعتمدة على الحزم الشعاعية الفعالة، قد تطلق ثورة في عالم الحروب. ولكن وضع كل تلك التقانة في شيء ما حجمه يسمح بوضعه في عربة، لا يزال في عالم «الخيال العلمي.» ■

<S. أشلي>

ردود أفعال مدمرة[*]

لقد طورت الولايات المتحدة أحد أنواع الليزرات الجبارة، وهو جهاز طاقة موجهة يغذى بالتفاعل الكيميائي. وتسمى هذه الفئة من الليزرات الميگاواطية والأكثر «قوة» من «نسيباتها» ليزرات الحالة الصلبة، بليزرات الأكسجين واليود الكيميائية (COILs)[٢]. **ولكنها كبيرة وتعمل فقط مادام هناك مخزون من المواد الكيميائية المتفاعلة. ومع ذلك فإن المتعاقدين الدفاعيين يُحضِّرون لتركيب هذه الليزرات على الطائرات. وسوف تحتضن طائرة بوينگ 747 تلك الليزرات الجوية YAL-1A للاستخدام ضد المركبات الجوية وبخاصة الصواريخ القذفية الموجهة وطائرات الشحن AC-130 التي تستخدم أيضا كسفينة قتالية. وهي بدورها ستستفيد من الليزرات التكتيكية المتطورة التي يتوقع استخدامها في الهجوم الدقيق من الجو إلى الأرض.**

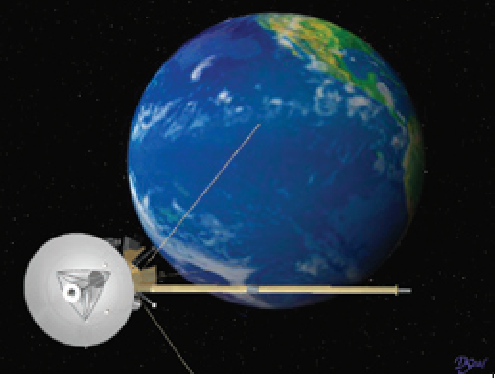
ستيرلنگ في أعماق الفضاء[**]

للإقلال من استهلاك وقود النظائر المشعة، تعود وكالة الفضاء «ناسا» مئتي سنة إلى الوراء.

منذ 30 عاما وحتى اليوم، اعتمدت مجسات الوكالة «ناسا» للسبر في الفضاء البعيد على **المولّدات الكهرُحرارية العاملة على النظائر المشعة** (RTGs)[٣]، وهي الأجهزة التي تستخدم تفكك البلوتونيوم 238 في تسخين المزدوجات الكهرُحرارية فتولد الكهرباء. ووكالة الفضاء مستعدة اليوم للاستعاضة عن هذه المولدات الثقيلة والمكلفة وغير الكفؤة بمنظومة تزوّدنا بطاقة أكبر وباستخدام كمية من الوقود المشع أقل بكثير – وهي تقانة تعتمد على ابتكار يعود إلى القرن التاسع عشر.

ففي عام 1816 حصل القسّ الاسكتلندي <R. ستيرلنگ> البالغ النشاط على براءة اختراع لمحرك هو البساطة بعينها، محرك ستيرلنگ، مكون من حجرتين أو أسطوانتين إحداهما باردة والأخرى حارة تحتويان على «**مائع عامل**[٤]» (هو عادة الهواء أو الهليوم أو الهدروجين) مع **برَّاد**[٥] أو **مبادل حراري**[٦] بين الحجرتين. وتؤدي

(*) LETHAL REACTIONS
(**) STIRLING IN DEEP SPACE
(١) the power output
(٢) chemical oxygen iodine lasers
(٣) radioisotope thermoelectric generators
(٤) working fluid
(٥) regenerator
(٦) heat exchanger



مسار جديد: تخطط الوكالة ناسا للاستعاضة عن المولدات الكهرحرارية العاملة على النظائر المشعة، المستخدمة على متن مجسات الفضاء البعيد مثل المجس كاسيني Cassini بمحركات ستيرلنگ التي تحتاج إلى رُبع كمية الوقود. تمثل صورة الفنان المجسَّ كاسيني يطير قرب كوكب الأرض.

الاختلافات في درجة الحرارة والضغط بين الأسطوانتين إلى تمدد وتقلص المائع العامل؛ فيغدو ويروح عبر المبادل محركا مكبسا، وبهذا تحول هذه العملية الطاقةَ الحراريةَ (التي يوفرها في حالة «ناسا» التفكك الإشعاعي) إلى طاقة ميكانيكية.

يقول <D. لاڤيري> [أحد مديري برنامج استكشاف المنظومة الشمسية في المقر الرئيسي للوكالة ناسا في العاصمة واشنطن]: «لقد عكفنا على البحث والاستثمار في المولّد ستيرلنگ على مستوى معين أثناء قرابة العقود الثلاثة الماضية، وحاليا توصلنا إلى النقطة التي أصبحنا فيها على استعداد للتقدم خطوة أخرى نحو الأمام.»

تضع الشركة لوكهيد مارتن اللمسات الأخيرة على وحدة اختبار هندسية ينبغي أن تكون جاهزة في ربيع عام 2008 هي **مولّد ستيرلنگ المتقدم ذو النظائر المشعة** the advanced Stirling radioisotope generator. يقوم اثنان من محولات ستيرلنگ داخل المولّد بتحريك المكابس داخل **منوّبة خطية**[1]، فتولد 100 واط من الطاقة الكهربائية. سيكون طول وحدة الاختبار تلك أقل من ياردة (نحو 90 سنتيمترا) وعرضها قدم واحدة (30 سنتيمترا)، فهي صغيرة لدرجة تكفي لأن توضع في المقعد الخلفي لسيارة صغيرة، ذلك أن وزنها يتجاوز بقليل 40 رطلا (18 كيلوغراما)، وهذا أقل من نصف وزن المولّد RTG العادي. وسيكون لها الفخر بأن يكون مردود التحويل فيها بين 20 و 30 في المئة، مقارنة بالمردود الشحيح البالغ 6 إلى 7 في المئة للمولّدات RTGs، في حين لا تحتاج إلا إلى ربع كمية الوقود من النظائر المشعة.

تلك الصفات تعدّ ميزات مهمة بالنسبة إلى الرحلات في الفضاء. وبما أن وحدة ستيرلنگ أقل وزنا، فإن إطلاقها أقل تكلفة، وسوف يتيح ذلك للمركبة الفضائية أن تزيد من حمولتها. كما أن إنقاص كمية الوقود من النظائر المشعة إلى الربع – من 20 رطلا في المولد RTG إلى خمسة في المولّد ستيرلنگ – يوفر المال أيضا، وفي الوقت نفسه يقلل من مخاطر السلامة المتعلقة بأسوأ السيناريوهات، وهو انفجار مركبة الإطلاق في الجو. والوكالة ناسا تدرك تماما قلق الجمهور المتعلق بالسلامة الإشعاعية، وكما يقول <لاڤيري>: «ففي أية منظومة أساسها نووي نتبع كامل إجراءات قانون السياسة البيئية»، وهذه تتطلب أن تجمع الوكالة ناسا تعليقات الجمهور وتطّلع على آرائه قبل أي قرار نهائي بإطلاق مركبة فضائية.

ويوضّح <R. شالتنز> [رئيس فرع تحويل الطاقة الحرارية في مركز گلين Glenn للأبحاث التابع للوكالة ناسا] أنه بمجرد أن تنهي الشركة لوكهيد الاختبارَ الأولي للجهاز، فإن المركز سوف يُخضعه لتقييمات مستفيضة بغية البدء بنقله إلى الحالة التي تؤهله للطيران. وهو يقول: «إننا نخطط للمضي في دراسة إمكان استخدام هذه التقانة في الرحلات القادمة، ربما في الأعوام 2012-2013.» ويشير أيضا إلى أن محولات ستيرلنگ، في أثناء أكثر من 000 100 ساعة اختبار مختبري وفي ظروف متنوعة «برهنت على أن أداءها كما هو متوقع وأن لديها القدرة على ديمومة طويلة» مقارنة بالمولدات RTGs.

والوكالة ناسا واثقة تماما بالمولدات ستيرلنگ ذات النظائر المشعة لدرجة أنها دعت جماعة الباحثين في علم الفضاء إلى تقديم أفكار مشاريع عن مهام ورحلات بين الكواكب تعتمد المولّد ستيرلنگ. ويؤكد <لاڤيري> أن المهمة التدشينية للمولّد يمكن أن تكون رحلة إلى الكواكب الخارجية أو رحلة مأهولة إلى القمر أو المريخ. ويقول: «على التصميم العام لمثل هذه الرحلات في الوقت الحالي أن يكون منسجما إما مع البيئة بين الكواكب في الفضاء البعيد أو

(1) linear alternator

مع بيئة سطوح الكواكب المحاطة بغلاف جوي أو بالخلاء.»

ويمكن لتقانة ستيرلنگ أن تبزّ تقانة RTG كليا. ويتوقع <لاڤيري> أنها «ستكون بداية عائلة جديدة من منظومات طاقة النظائر المشعة أكثر كفاءة بكثير وأقل تكلفة بكثير من الحلول التي كانت متاحة لنا حتى الآن.» ما كان للقسّ <ستيرلنگ> المبجّل أن يتخيل أن ابتكاره العبقري يمكن أن يصير المحرك الرئيسي الذي يزود بالقوة المحركة عصر الاستكشاف العظيم القادم للمنظومة الشمسية. ■

<M. وولڤرتون>

ڤيروس في الدماغ[*]

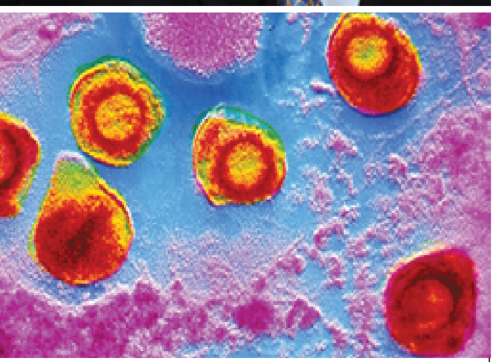
هل ينجم سرطان الدماغ المميت المسمى ورم الأرومة الدبقية *glioblastoma* ***عن ڤيروس حلئي*** *herpesvirus*؟

في السنوات الأخيرة، تزايدت كثيرا إشاراتُ علماء حيويات السرطان بأصابع الاتهام إلى الڤيروسات. فقد وجدوا أنّ **ڤيروس الورم الحليمي البشري** human papillomavirus يسبِّب سرطان عنق الرحم، وأنّ **التهاب الكبد الڤيروسي من النمط** hepatitis B يحرِّض على حدوث سرطان الكبد؛ كما ظهرت علاقةٌ بين **ڤيروس إيپشتاين-بار** Epstein-Barr virus وحدوث بعض **اللمفومات** lymphoma. وحديثا جدا اكتشف بعض العلماء أنّ أورام الدماغ الخبيثة المسماة **أورام الأرومة الدبقية العديدة الأشكال** glioblastoma multiforme – وهي النوع المتقدم في تطوّره من السرطان الذي أصاب السيناتور <E. كينيدي> من ولاية ماساتشوسيتس – تعِجُّ في جميع الحالات تقريبا **بڤيروسات مضخمة للخلايا** (CMV)[1]، وهي ڤيروسات شائعة الانتشار غير مؤذية عادة تنتمي إلى فصيلة الڤيروسات الحلئية. ومع أنّ طبيعة هذا الترافُق ما زالت مشوبة بالغموض، فإنّ بعض الباحثين شرعوا في محاولة الاستفادة من هذه الصلة لإيجاد علاجات جديدة للسرطان.

بدأت هذه القصة الملحمية في أواخر تسعينات القرن الماضي، عندما أخذ <Ch. كوبس> [وهو اختصاصي في الجراحة العصبية وكان عندئذ في جامعة سان فرانسيسكو بولاية كاليفورنيا] بالتأمّل والتفكير في العلاقة بين الالتهاب وسرطان الدماغ. فالأورام الخبيثة تترافق في كثير من الأحيان مع فعالية مناعية غير سوية، وقد أراد <كوبس> أن يعرف السبب الكامن وراء ذلك. يقول متسائلا وهو يتذكر تلك الأيام: «هل هذا الأمر مجرَّد شيء يحصل من دون تخطيط، أم إنه من المُحتمَل أن يكون هناك شيءٌ ما ربما يقود ذاك الشلال الالتهابي؟»

إنّ **الأخماج** infections تثير الاستجابات المناعية، لذا فهي تقفز فورا إلى الأذهان هنا على أنها أسبابٌ مرشَّحة لإحداث ذلك الأمر. وعندما حلَّل <كوبس> وزملاؤه عينات من أورام أرومة دبقية مستخلصة من 22 مريضا، وجدوا أنها جميعها تؤوي الڤيروس CMV. وفي الواقع، إنّ أربعة من أصل كل خمسة أشخاص يكون لديهم هذا الڤيروس، ويظل ملازما لهم طوال حياتهم. ويقوم الجهاز المناعي للإنسان عادة بإبقاء الڤيروس CMV في حالة كامنة لا يتكاثر فيها، ولكنّ <كوبس> وجد أنّ هذا الڤيروس يستنسخ ذاته ويعيد إنتاج نفسه في خلايا تلك الأورام، في حين لا يقوم بهذا في الخلايا السليمة المجاورة للخلايا السرطانية. ويقول <كوبس>: «لقد كان واضحا بجلاء أنّ هذه الأورام كانت مصابة بالخمج،» وقد نُشرت اكتشافاته في مجلة ***الأبحاث السرطانية*** *Cancer Research* عام 2002، وأكّدها عام





رابطة تجمع الڤيروسات بالسياسة: إنّ الورم الدماغي الخبيث المسمى ورم الأرومة الدبقية العديد الأشكال ـ وهو النوع المتقدم في تطوّره من السرطان الذي أصاب السيناتور <E. كينيدي> [من ولاية ماساتشوسيتس] ـ يعِجُّ في معظم الأحيان بجزيئات الڤيروس CMV (*البقع الحمراء والصفراء التي تشاهد في الشكل السفلي*). ويشكك بعض الباحثين في كون هذا المرض[2] **pathogen** (ڤيروس من فصيلة الڤيروسات الحلئية) هو المسؤولَ عن حدوث الورم المعنيّ.

(*) VIRUS IN THE BRAIN

(١) cytomegalovirus

(٢) أو العامل المرض. (التحرير)

D. ميتشل> [الاختصاصي بعلم الأورام العصبية في جامعة ديوك] 2007.

والأمر الذي لم يكن واضحا هو لماذا على وجه التحديد كان الخمج موجودا هناك؟ فهل يسبّب الڤيروس CMV حدوث السرطان، أم إنه ببساطة يتكاثر ضمن الخلايا الورمية؟ وكما يوضِّح <ميتشل> «إنه سؤال يشبه قصة الدجاجة والبيضة: من جاء قبل الآخر الڤيروس أم السرطان؟» فالمصابون بورم الأرومة الدبقية - على حسب ما يقوله <ميتشل> - لديهم ضعفٌ في الجهاز المناعي يمكن أن يسمح للخمج الكامن بالڤيروسات CMV بأن يستعيد نشاطه من جديد. ويمكن أن توجد الڤيروسات CMV بشكل وافر في الخلايا الورمية للدماغ؛ لأنه من السهولة بمكان الارتشاحُ فيها. وفي دراسة أجريت عام 2008 ونشرها <كوبس> في مجلة *Nature* الشهيرة، تبيَّن أنّ هناك مُسْتَقْبِلة على سطح الخلية مسؤولة عن السماح بدخول الڤيروس CMV إليها، وهي توجد بكمية أكبر على سطوح خلايا الورم الدماغي منها على سطوح أنماط الخلايا الأخرى.

ويعتقد <كوبس> [الذي يعمل حاليا في معهد الأبحاث التابع للمركز الطبي للمحيط الهادئ في مدينة سان فرانسيسكو] أنّ الڤيروس CMV يؤدي دورا أكثر فاعلية في عملية توليد الأورام. وهو يشير إلى دراسة نُشرت في الشهر 2008/5 في مجلة *Science*، وأظهرت أنّ الڤيروس CMV يقوم بصنع پروتينات معيّنة تقوم بـ«إطفاء» جينات بشرية عملها ذو قيمة في منع النمو غير المرغوب فيه للخلايا، وهذا الأخير يُعتَبَر شرطا مسبقا لتطوّر حدوث الورم. فكأنّ الڤيروس CMV يقوم بـ«تحطيم حاجز الفرملة،» على حسب رأي أحد المشاركين في الدراسة المذكورة آنفا وهو <R. كالجتا> [الاختصاصي بعلم الڤيروسات الجزيئي في جامعة ماديسون]. وقد أظهرت دراسات أخرى أنّ الڤيروس CMV يمكنه أن يعرقل قدرة الخلية على الانتحار عندما ينحرف نموها عن المسار الصحيح. ولكن حتى الآن - على حسب ما ينبّه إليه <كالِتجا> - لم يُثبت أحد أنّ الڤيروس CMV يمكنه أن يحوِّل خلية سليمة إلى خلية سرطانية. وهكذا، فعلى الرغم من امتلاك الڤيروس بعض الأدوات اللازمة لإحداث السرطان، فلا يوجد دليلٌ قاطعٌ على أنه يقوم بذلك بالفعل.

إنّ الخبر الجيّد هنا هو أنّه فيما يخصّ استنباط الطرق العلاجية للسرطان لا يهمّنا فهم تفاصيل علاقة الڤيروس CMV بسرطان الدماغ بقدر ما يهمّنا وجود العلاقة بحدِّ ذاتها. يقول <ميتشل> [الذي يركّز عمل مختبره على ابتكار معالجات جديدة للسرطان]: «فيما يتعلق بالهدف المرجو من أعمالنا ليس للأمر السابق في الحقيقة قيمةٌ فعلية، فنحن نعتبر مجرَّد وجود الڤيروس فرصة فريدة من نوعها تسمح لنا بملاحقته هدفا ضمن الخلايا السرطانية.» وهكذا، قام العاملون في مختبره بـ«تدريب» خلايا الجهاز المناعي على تمييز پروتينات الڤيروس CMV، ومن ثمَّ قاموا باستخدام هذه الخلايا في تعرّف الخلايا الورمية المخموجة بالڤيروس CMV وفي القضاء عليها.

إنّ <ميتشل> وزملاءه يجرون حاليا تجارب سريرية لاختبار لقاحهم (وكذلك نسخة أخرى منه تستخدم خلية مناعية أخرى). وعلى الرغم من أنهم لم ينشروا بعدُ نتائج أبحاثهم، فهو يقول: «إنّ طلائع المعلومات الواردة تبدو واعدة.» هنا يعلّق <كوبس> على ذلك كونه أحد المُفعَمين بالأمل فيقول: «إنني أحبس أنفاسي، إذ يبدو أنّ هذه الطريقة يمكن أن تكون وسيلة جديدة بشكل جذري فيما يتعلق بأسلوب معالجة هذه الأورام.» ■

<M. وينر> تعمل في مدينة نيويورك وتكتب، في معظم الأحيان، في مواضيع طبية بيولوجية biomedical.

عندما توجد النظافة بجوار السرطان(*)

يصيب الڤيروس CMV نحو 80% من الناس. فإذا كان هذا الڤيروس يسبِّب ورم الأرومة الدبقية العديد الأشكال، كما يفترض <كوبس> [من معهد الأبحاث بالمركز الطبي للمحيط الهادئ في مدينة سان فرانسيسكو بولاية كاليفورنيا]؛ فلماذا لا يصاب إلاّ عددٌ قليلٌ منهم فقط بأورام الدماغ؟ يجيب <كوبس> مجادلا في أنّ السؤال نفسه يمكن أن يُطرَح بخصوص **المُمرضات** pathogen المعروف عنها إحداثها للسرطان مثل ڤيروس الورم الحليمي البشري، ويقول: «إنّ هذه هي القاعدة الفعلية هنا: يكون لديك خمجٌ واسع الانتشار، وعلى الرغم من هذا، لا تُصاب بالسرطان سوى نسبة صغيرة من تلك الحالات.» وبالنسبة إلى ورم الأرومة الدبقية لاحظ <كوبس> أنّ معظم المرضى هم من الأشخاص الميسورين، فخمَّن أنّ الأشخاص المصابين بالشكل الكامن من خمج الڤيروس CMV ربما يكونون أكثر عرضة لحدوث الأورام إذا تمَّت تنشئتهم في بيئة نظيفة **تحفظ الصحة** hygienic.

تستند هذه الفكرة إلى ما يسمى «فرضية الحفاظ على الصحة» التي تُستخدَم لتفسير معدّل الحدوث المرتفع للظواهر التحسّسية في البلدان المتطورة. هذه الفرضية تقوم على أنّ التعرّض أثناء الطفولة للممرضات يهيئ للجهاز المناعي الفرصة كي يستجيب لها بشكل صحيح ومناسب. وفي المقابل، عندما ينمو الأشخاص ويتقدّمون في السن وهم ضمن بيئة «فائقة النظافة»؛ فإنّ أجهزتهم المناعية لا تنضج بالشكل الكافي. وعلى حسب ما يقوله <كوبس> عندما يُصاب مثل أولئك الأشخاص بالخمج بالڤيروس CMV، فحينئذ يمكن أن يكونوا أكثر عرضة لحدوث ورم الأرومة الدبقية. ولكنّ <كوبس> يعترف بأنّ فكرته هذه لا ترتكز فعليا على أكثر من إحساس داخلي ذاتي.

(*) When Cleanliness Is Next to Malignancy



رؤية ليلية[*]

يبدو أن حركات العين السريعة تمسح التحركات في أحلامنا.

تدور أعيننا باستمرار ضمن محاجرها خلال **مرحلة تحركات العين السريعة أثناء النوم** REM) sleep)[1]، أو اختصارا «نوم الريم»، وهي ظاهرة مازالت من دون تفسير منذ عقود، وقد وضع لها الباحثون عدة احتمالات: منها أن العين تدور لتشحيم الطبقة الداخلية من الجفن، أو أن العين تهتز لتدفئة الدماغ، أو أن العين ترتعش استجابة لتنبيهٍ من جذع الدماغ. وبحسب الدراسة الواردة في العدد الصادر في الشهر 2010/6 من مجلة ***الدماغ*** *Brain*، فإن التفسير الأكثر احتمالا هو: إن أعيننا توجِّه تحديقها إلى مسح الصور التي نتخيلها في الأحلام، مثلما تغير العينان اتجاه تحديقهما استجابة للبيئة التي تحيط بنا ونحن يقظون ومتحركون.

وقد شملت الدراسة التي أجراها اختصاصيون في العلوم العصبية بمستشفى پيتيه سالپيتريپه في باريس مجموعة فريدة من المصابين باضطراب سلوكي في مرحلة نوم الريم. فهؤلاء الأشخاص لا يدخلون في الحالة المعتادة من الشلل المؤقت التي تحول دون التحرك أثناء الأحلام. وبدلا من ذلك فإنهم يعبّرون بأجسادهم عن أحلامهم: فقد يقومون بالرفس بالقدمين، وبالصراخ، وبمسك الأشياء باليدين، وبمد اليد للوصول إلى شيء ما، وبتسلق مكان ما أو بالقفز منه، وهذا ما يمكن الباحثين من اكتشاف ما يدور عادة داخل رأس الشخص الحالِم، وكما قالت ‹I. أرنولف› [الاختصاصية في الجهاز العصبي والمتخصصة في مجال النوم، والتي شاركت في إعداد هذه الدراسة]: «تلك نافذة مباشرة نطل من خلالها على أحلام الناس»، وتتابع ‹أرنولف› قولها: «وهذا يبدو شبيها بالحاشية المكتوبة أسفل الشاشة في فيلم سينمائي.»

وقد استعملت ‹أرنولف› وزملاؤها أقطابا كهربائية لتعقب حركات العين عند 56 شخصا ممن يعانون اضطرابا في النوم، و17 شخصا ممن نومهم سوي، وسجلت شريط فيديو للسلوك الليلي للمجموعتين المدروستين في وقت واحد؛ ثم حلل الباحثون الشريط المسجل للمرضى طوال الليل صورة صورة لمعرفة ما إذا كانت الفعاليات لديهم تتماشى مع اتجاه تحديقهم.

وقد ظهر ذلك التماشي بوضوح لديهم، إذ إنه في 90% من الوقت كان نَظَرُ الشخص الذي لديه اضطراب في نوم الريم موجّها بشكل متزامن إلى أنشطة تومىء إلى أفعال بالحلم. فمن حَلِم بأنه يقبِّل أحدا إلى يساره، فإنه ينظر إلى اليسار، ومن حلم بأنه يصعد سلّما، فهو يبدل بالتتالي اتجاه نظره إلى الأعلى والأسفل لمتابعة تقدم حركته. وكان هناك من يسترق النظر إلى الخلف من فوق كتفه وهو يحلم بأنه يهرب من أسد. فلو كانت حركات العين السريعة ارتعاشات عشوائية، فإن تلك الارتعاشات لن تتوافق مع حركات الأحلام المرافقة لها بهذا التكرار، وهذا ما استنتجه الباحثون. ومن المؤكد أنه إذا تَمّ النظر إلى الموضوع من وجهة نظر العلوم العصبية للأحلام، فمن الأفضل أن تصدق عينيك. ■

‹F. جَبر›

(*) Night Sight

(1) Rapid Eye Movement

Letters to the Editor

Scientific American
75 Varick Street, 9th Floor,
New York, NY 10013-1917
or editors@SciAm.com

Letters may be edited for length and clarity. We regret that we cannot answer each one. Post a comment on any article instantly at www.ScientificAmerican.com/sciammag

Majallat AlOloom July / August - 2011 Volume 27 Number 7/8 SCIENTIFIC AMERICAN

